Karakterizacija ekološkog i konzervacionog statusa hrastova (Quercus L.) na području Predela izuzetnih odlika "Kosmaj"

By Marija Jovanović

WORD COUNT	52727	TIME SUBMITTED	11-SEP-2023 09:49AM
		PAPER ID	102641670

UNIVERZITET SINGIDUNUM
BEOGRAD
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

DOKTORSKA DISERTACIJA

Karakterizacija ekološkog i konzervacionog statusa hrastova (*Quercus* L.) na području Predela izuzetnih odlika „Kosmaj”

Mentor:

Prof. dr Jelena Milovanović

Student: Marija Jovanović

Broj indeksa: 485026/2020

Beograd, 2023. god.

SINGIDUNUM UNIVERSITY
BELGRADE
DEPARTMENT FOR POSTGRADUATE STUDIES

DOCTORAL DISSERTATION

Characterization of ecological and conservation status of oaks (*Quercus* L.) from the Region of outstanding features "Kosmaj"

Mentor:

Prof. Dr. Jelena Milovanović

Student: Marija Jovanović

Index number: 485026/2020

Belgrade, 2023

Mentor:	Prof. dr Jelena Milovanović, redovni profesor Univerziteta Singidunum u Beogradu
Članovi komisije:	Prof. dr Gordana Dražić, redovni profesor Univerziteta Singidunum u Beogradu
	Prof. dr Suzana Đorđević-Milošević, vanredni profesor Univerziteta Singidunum u Beogradu
	Prof. dr Marina Nonić, **komentor** vanredni profesor Šumarskog fakultetaUniverziteta u Beogradu
	Prof. dr Mirjana Šijačić-Nikolić, redovni profesor Šumarskog fakultetaUniverziteta u Beogradu

Datum odbrane: _____

Zahvalnica

Zahvaljujem se svom mentoru, prof. dr Jeleni Milovanović, redovnom profesoru Univerziteta Singidunum, na ukazanom poverenju, strpljenju, savetima i nesebičnoj pomoći tokom izrade ove doktorske disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem i prof. dr Mirjani Šijačić-Nikolić, redovnom profesoru Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na podršci, savetima i ukazanom poverenju. Posebno sam zahvalna prof. dr Šijačić-Nikolić jer mi je, kao rukovodilac, omogućila istraživanja u okviru projekta pod nazivom «Identifikovanje, praćenje i konzervacija genofonda endemičnih, retkih i ugroženih drvenastih vrsta na području PIO „Kosmaj"» (Ugovor broj V-01 4011-119), finansiranog od strane Gradske uprave grada Beograda – Sekretarijata za zaštitu životne sredine i realizovanog od straneŠumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Veoma sam zahvalna komentoru, prof. dr Marini Nonić, vanrednom profesoru Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na inspiraciji, podršci i nesebičnoj pomoći.

Zahvalnost dugujem i dr Jeleni M. Aleksić, naučnom savetniku na Institutu za molekularnu genetiku i genetičko inženjerstvo Univerziteta u Beogradu, master inž. Ivoni Kerkez Janković, istraživaču saradniku na Šumarskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, kao i koleginici dipl. inž. Veli Jankov, čije je angažovanje značajno unapredilo ovu doktorsku disertaciju.

Zahvaljujem se svim prijateljima i kolegama koji su me podržali u nameri da svoje istraživanje dovedem do kraja.

Najveću zahvalnost dugujem svojoj porodici, bez čije podrške ova disertacija ne bi ugledala svetlost dana.

Autor

Sažetak

Varijabilnost vrsta može se posmatrati kao kompleks dveju kategorija – adaptivne varijabilnosti, koja je pod uticajem faktora sredine i neutralne varijabilnosti, koja ne podleže uticaju sredine. Predmet istraživanja ove doktorske disertacije su četiri vrste hrasta (*Quercus* L.) na području Predela izuzetnih odlika „Kosmaj" (PIO
„Kosmaj"), čija je adaptivna varijabilnost analizirana primenom metoda geometrijske morfometrije na listu, a neutralna varijabilnost primenom molekularnih markera. Cilj istraživanja ove doktorske disertacije je karakterizacija ekološkog i konzervacionog statusa četiri vrste hrasta (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. – kitnjak, *Q. pubescens* Willd. – medunac, *Q. frainetto* Ten. – sladun, *Q. cerris* L. – cer) na području PIO „Kosmaj" i definisanje konkretnih mera konzervacije, kao i ekoloških i konzervacionih principa gazdovanja njihovim populacijama. Tokom 2022. godine, 247 individua četiri različite vrste hrasta je selekcionisano na području PIO „Kosmaj". Procena adaptivne varijabilnosti izvršena je analizom listova izabranih vrsta hrastova metodama geometrijske morfometrije – analizom specifičnih tačaka i morfološkom analizom veličine i oblika (MASS). Takođe, radi povezivanja morfometrijskih karakteristika lista i uslova staništa, korišćen je digitalni model terena. Analiza neutralne varijabilnosti hrastova sa područja PIO „Kosmaj" uključivala je selekciju individua četiri vrste hrasta, sakupljanje i pripremu biljnog materijala, kao i izbor 14 mikrosatelita i njihovu dalju analizu. Rezultati ove doktorske disertacije potvrdili su glavnu hipotezu da je stepen unutar- i međuvrsne genetičke varijabilnosti hrastova na području PIO „Kosmaj" rezultat uticaja genotipa, lokalnih uslova staništa, stanja životne sredine, načina gazdovanja populacijama i istorijskih procesa kroz koje su istraživane populacije prošle. Rezultati su pokazali da je adaptivna varijabilnost hrastova na području PIO „Kosmaj" povezana sa karakteristikama staništa, stanjem životne sredine i načinima gazdovanja populacijama hrastova, da postoji usklađenost rezultata dobijenih primenom adaptivnih i neutralnih genetičkih markera, kao i usklađenost dobijenih rezultata sa ranije publikovanim podacima o genetičkoj varijabilnosti hrastova. Rezultati analize adaptivne genetičke varijabilnosti pokazali su visok stepen morfološke varijabilnosti lista hrastova sa područja PIO
„Kosmaj" i povezali varijabilnost sa uslovima staništa dobijenim pomoću digitalnog modela terena, što predstavlja izuzetnu priliku za opservaciju veze morfologije i životne sredine, koja se može koristiti u svrhu konzervacije šumskih genetičkih resursa. Rezultati analize neutralne varijabilnosti pokazali su da se na području PIO
„Kosmaj" četiri analizirane vrste hrastova odlikuju visokim nivoima genetičkog diverziteta, koji je preduslov za njihovo preživljavanje, posebno u pogledu sve izraženijih klimatskih promena. Takođe, istraživanja na području PIO „Kosmaj" pružila su uvid u sastav vrsta hrastova u ovoj oblasti, kao i u opšte stanje njihovih populacija. Na osnovu negativnih uticaja koji deluju na području PIO „Kosmaj", može se zaključiti da su primarni faktori koji nepovoljno deluju na genofond drvenastih vrsta degradacija staništa, uništavanje šuma i njihova fragmentacija. Uništavanje staništa, u kombinaciji sa drugim negativnim faktorima, ima za posledicu gubitak određenog genofonda, odnosno njegovu eroziju. Kada se uzme u obzir većinski izdanačko poreklo šuma na Kosmaju, koje se teško prilagođavaju naglim promenama životne sredine, očuvanje genofonda drvenastih vrsta se nameće kao jedna od prioritetnih

aktivnosti koju treba sprovesti u što skorijoj budućnosti. Na osnovu definisanih deset prioriteta za konzervaciju genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova, uočljivo je da gazdovanje šumama na području PIO „Kosmaj", u svrhu poboljšanja produkcije i unapređenja zaštite, mora biti kombinovano sa dobrim planiranjem i koordinacijom aktivnosti na nacionalnom, lokalnom i regionalnom nivou. Pored toga, važan cilj je određivanje prioritetnih vrsta, populacija i područja za očuvanje genetičkih resursa hrastova u vidu *ex situ* i *in situ* konzervacije, u okviru koherentnog programa i u skladu sa nacionalnim politikama i biološkim mogućnostima svake vrste.

Ključne reči: hrastovi, varijabilnost, konzervacija genofonda, zaštićeno područje, ekološki principi upravljanja

Abstract

Species variability can be considered as a complex of two categories – adaptive variability which is influenced by environmental factors, and neutral variability which is not influenced by the environment. The subject of research of this doctoral dissertation are four species of oaks (*Quercus* L.) from the Region of outstanding features "Kosmaj", whose adaptive variability was analyzed using leaf geometric morphometrics, and neutral variability using molecular markers. This research aimed to characterize the ecological and conservation status of four oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. – sessile oak, *Q. pubescens* Willd. – pubescent oak, *Q. frainetto* Ten. – Hungarian oak, *Q. cerris* L. – Turkey oak) in the Region of outstanding features "Kosmaj" and to define specific conservation measures, as well as ecological and conservation principles of managing their populations. During the year 2022, 247 individuals of four different oak species were selected in the Region of outstanding features "Kosmaj". The assessment of adaptive variability was carried out by analyzing leaves of selected oak species using geometric morphometrics – landmark analysis and morphological analysis of size and shape (MASS). Also, to link the morphometric characteristics of the leaves and habitat conditions, a digital terrain model was used. The analysis of the neutral variability of oaks from the Region of outstanding features "Kosmaj" included the selection of individuals of four oak species, collection and preparation of plant material, selection of 14 microsatellites for genotyping and their further analyses. The results of this doctoral dissertation confirmed the main hypothesis that the degree of inter- and intraspecific genetic variability of oaks in the Region of outstanding features "Kosmaj" is the result of the influence of genotype, local habitat conditions, environmental conditions, population management and the historical processes that the analzyed populations have gone through. The results showed that the adaptive variability of oaks in the Region of outstanding features "Kosmaj" is related to habitat characteristics, environmental conditions and population management, the consistency of the results obtained by adaptive and neutral genetic markers, as well as the consistency of the obtained results with previously published data on the genetic variability of oaks. The results of the analysis of adaptive genetic variability showed a high degree of morphological variability of oak leaves from the Region of outstanding features "Kosmaj" and linked this variability with habitat conditions obtained using a digital terrain model. This represented an excellent opportunity to observe the relationship between morphology and environment that can be used for forest genetic resources conservation. The results of the analysis of neutral variability showed that in the Region of outstanding features "Kosmaj" four analyzed oak species were characterized by high levels of genetic diversity, which is a prerequisite for their survival, especially in terms of increasingly pronounced climate changes. Also, research in the Region of outstanding features "Kosmaj" gave insight into the composition of oak species in this area, as well as the general condition of the populations. Based on the negative impacts in the Region of outstanding features "Kosmaj", it can be concluded that the primary factors that adversely affect the gene pool of woody species are habitat degradation, forest destruction and their fragmentation. Habitat destruction, in combination with other negative factors, results in the loss of a certain gene pool, i.e. its erosion. When taking into account the coppice origin of the majority of forests at Kosmaj, which are difficult to adapt to sudden changes in the environment, the preservation of the gene pool of

woody species is imposed as one of the priority activities that should be implemented in the near future. Based on the defined ten priorities for the conservation of the genetic resources of the analyzed oak species, it is noticeable that forest management in the Region of outstanding features "Kosmaj" must be combined with good planning and coordination of activities at the national, local and regional level, to improve production and conservation of oak species. In addition, an important goal is the determination of priority species, populations and areas for the conservation of oak genetic resources in the form of *ex situ* and *in situ* conservation units within a coherent program, and in accordance with national policies and biological characteristics of each species.

Keywords: oaks, variability, gene pool conservation, protected area, environmental management principles

SADRŽAJ

Spisak skraćenica

Spisak tabela Spisak slika

1. UVOD 1

1.1. TAKSONOMSKA PRIPADNOST I RASPROSTRANjENOST RODA *QUERCUS* L. 4

1.1.1. Rasprostranjenost hrastova u Evropi 7

1.1.2. Rasprostranjenost hrastova u Srbiji 8

1.2. OSNOVNE ODLIKE ISTRAŽIVANIH VRSTA 10

1.2.1. Cer (*Quercus cerris* L.) 10

1.2.2. Sladun (*Quercus frainetto* Ten.) 13

1.2.3. Kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) 16

1.2.4. Medunac (*Quercus pubescens* Willd.) 20

1.3. PREGLED DOSADAŠNjIH ISTRAŽIVANjA GENETIČKE VARIJABILNOSTI HRASTOVA (*QUERCUS* L.) PRIMENOM ADAPTIVNIH I NEUTRALNIH MARKERA 24

1.3.1. Adaptivna (morfološka) varijabilnost hrastova 24

1.3.2. Neutralna (molekularna) varijabilnost hrastova 25

2. PREDMET, CILj I OSNOVNE HIPOTEZE ISTRAŽIVANjA 28

3. MATERIJAL I METODE RADA 30

3.1. OPIS ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 30

3.1.1. Reljef 30

3.1.2. Geološka podloga 30

3.1.3. Pedološka podloga 31

3.1.4. Hidrologija 32

3.1.5. Klima 32

3.1.6. Flora i vegetacija 32

3.1.6.1. *Zajednica sladuna i cera (Quercetum frainetto-cerridis Rudski 1949.)* 35

3.1.6.2. *Zajednica cera sa crnim jasenom (Fraxino orni-Quercetum cerridis Stefanović 1968.)* 35

3.1.6.3. *Zajednica kitnjaka i cera (Quercetum petraeae-cerridis B. Jovanović 1979. s.l.)* 35

3.1.6.4. *Zajednica kitnjaka i graba (Querco petraeae-Carpinetum betuli Rudski 1949. s.l.)* 36

3.1.6.5. *Zajednica brdske bukve (Helleboro odori-Fagetum moesiacae Soo & Borhidi 1960)* 36

3.1.6.6. *Mešovite zajednice bukve i kitnjaka (Querco petraeae-Fagetum moesiacae Glišić 1971.)* 36

3.1.6.7. *Veštački podignute sastojine* 37

3.1.7. Fauna 38

3.1.8. Stanje životne sredine i status zaštite 38

3.2. ANALIZA GENETIČKE VARIJABILNOSTI 42

3.2.1. Analiza adaptivne varijabilnosti 43

3.2.1.1. *Prikupljanje materijala* 43

3.2.1.2. *Statističke analize* 45

3.2.2. Analiza neutralne varijabilnosti 51

3.2.2.1. *Uzorkovanje* 52

3.2.2.2. *Laboratorijske analize* 52

3.2.2.3. *Statističke analize* 55

4. **REZULTATI ISTRAŽIVANjA** 57
4.1. ADAPTIVNA VARIJABILNOST 57
4.1.1. Unutarvrsna varijabilnost 57
4.1.1.1. *Cer* 57
4.1.1.2. *Kitnjak* 62
4.1.1.3. *Medunac* 68
4.1.1.4. *Sladun* 74
4.1.2. Međuvrsna varijabilnost 80
4.1.3. Beza morfologije lista i uslova staništa 85
4.1.3.1. *Nadmorska visina* 85
4.1.3.2. *Nagib terena* 91
4.1.3.3. *Ekspozicija* 97
4.2. NEUTRALNA VARIJABILNOST 102
4.2.1. Genetički diverzitet 102
4.2.2. Genetička diferencijacija 105
4.2.3. Genetička struktura 107
4.3. FAKTORI UGROŽAVANjA ŠUMSKIH GENETIČKIH RESURSA NA PODRUČJU PIO „KOSMAJ" 111
4.4. CILjEVI, PRIORITETI I MERE OČUVANjA GENETIČKIH RESURSA HRASTOVA NA PODRUČJU PIO „KOSMAJ" 117
5. **DISKUSIJA** 123
6. **ZAKLjUČCI** 128
7. **LITERATURA** 135
8. **PRILOZI** 153

Spisak skraćenica

95% CI	95% interval poverenja, *95% Confidence Interval*
A	broj alela, *Number of Alleles*
Ae	efektivni broj alela, *Effective Number of Alleles*
AFLP	polimorfizam dužine amplificiranih fragmenata, *Amplified Fragment Length Polymorphism*
ANOVA	analiza varijanse, *Analysis of Variance*
Ar_{98}	bogatstvo alela po metodi rarefakcije za 98 kopija gena, *Allelic Richness According to the Rarefaction Method for 98 Gene Copies*
bp	bazni parovi, *Base Pairs*
CDA	kanonijska diskriminantna analiza, *Canonical Discriminant Analysis*
C1-C60	selekcionisane individue cera (1-60)
CS	veličina centroida, *Centroid Size*
E	istok, *East*
Eksp.	kategorija ekspozicije
EFA	eliptična Furijeova analiza, *Elliptic Fourier Analysis*
EFDs	eliptični Furijeovi deskriptori, *Elliptic Fourier Descriptors*
EUFORGEN	Evropski program šumskih genetičkih resursa, *European Forest Genetic Resources Programme*
F	koeficijent inbridinga, *Coefficient of Inbreeding*
FA	fluktuirajuća asimetrija, *Fluctuating Asymmetry*
F_{ST}	parametar genetičke diferencijacije, *Measure of Population Differentiation*
GPA	generalizovana Prokrustova analiza, *Generalized Procrustes Analysis*
H_E	očekivana heterozigotnost, *Expected Heterozygosity*
HIPPO	akronim: gubitak staništa (*Habitat alteration*), invazivne vrste (*Invasive species*), zagađenje (*Pollution*), rast ljudske populacije (*Population growth*), prekomerna eksploatacija (*Overexploitation*)
Ho	dobijena heterozigotnost, *Observed Heterozygosity*
IUCN	Međunarodna unija za zaštitu prirode, *International Union for Conservation of Nature*
IGD	istočna geografska dužina

K	broj genetičkih grupa
K1-K60	selekcionisane individue kitnjaka (1-60)
LC	poslednja briga, *Least Concern*
M1-M65	selekcionisane individue medunca (1-65)
MANOVA	multivarijantna analiza varijanse, *Multivariate Analysis of Variance*
MAS	marker asistirana selekcija
MASS	morfološka analiza veličine i oblika, *Morphological Analysis of Sizeand Shape*
MBPS	*Multiple Population Breeding System*
MCMC	Monte Karlo Markov Lanac, *Markov Chain Monte Carlo*
MCPFE	Ministarska konferencija o zaštiti šuma u Evropi, *Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe*
N	sever, *North*
N.	veličina populacije
Na	prosečan broj alela po lokusu, *Average Number of Alleles per Locus*
NV	nadmorska visina
NT	nagiba terena
nSSRs	nukelarni mirosatelinti markeri, *Nuclear Simple Sequence Repeats*
NASA	Nacionalna vazduhoplovna i svemirska administracija, *National Aeronautics and Space Administration*
Ne	efektivna veličina populacije, *Effective Population Size*
NE	severoistok, *Northeast*
Nm	protoka gena, *Gene Flow*
NW	severozapad, *Northwest*
PA	broj privatnih alela, *Number of Private Alleles*
PBA	Odabrano područje za dnevne leptire, *Prime Butterfly Areas*
PC	glavna komponenta, *Principal Component*
PCA	analiza glavnih komponenti, *Principal Component Analysis*
PCoA	analiza glavnih koordinata, *Principal Coordinate Analysis*
PCR	lančana reakcija polimeraze, *Polymerase Chain Reaction*
PIO	predeo izuzetnih odlika
PIK	*Polymorphism Information Content*

RAPD	nasumična amplifikacija polimorfne DNK, *Random Amplified Polymorphic DNA*
S	jug, *South*
S1-S62	selekcionisane individue sladuna (1-62)
SE	jugoistok, *Southeast*
S.E.	standardna greška, *Standard Error*
SW	jugozapad, *Southwest*
SGŠ	severna geografska širina
TBE	*Tris-Borate-EDTA* pufer
TPS	beskonačno idealno tanka metalna ploča, *Thin Plate Spline*
UV	ultraljubičasta svetlost, *Ultraviolet Light*
W	zapad, *West*

Spisak tabela

Tabela 1. Stanje šuma cera, sladuna, kitnjaka i medunca na teritoriji Republike Srbije(prema Banković et al,, 2008)

Tabela 2. Nuklearni mikrosateliti korišćeni za procenu neutralne varijabilnostihrastova

Tabela 3. Deskriptivni statistički pokazatelji osnovnih parametara lista ceraTabela 4.

Korelacije između parametara lista cera

Tabela 5. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista cera sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom

Tabela 6. Deskriptivni statistički pokazatelji osnovnih parametara lista kitnjakaTabela 7.

Korelacije između parametara lista kitnjaka

Tabela 8. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista kitnjaka sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom

Tabela 9. Deskriptivni statistički pokazatelji osnovnih parametara lista meduncaTabela 10.

Korelacije između parametara lista medunca

Tabela 11. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista medunca sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom

Tabela 12. Deskriptivni statistički pokazatelji osnovnih parametara lista sladunaTabela 13.

Korelacije između parametara lista sladuna

Tabela 14. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista sladuna sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom

Tabela 15. Korelacije između parametara lista svih vrsta hrastova

Tabela 16. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista sa vrstom kaogrupišućom promenljivom

Tabela 17. Vrednosti korelacija nadmorske visine i parametara dobijenih MASS analizom sa prikazom statističke značajnosti (p). Statistički značajne korelacije predstavljene su crvenom bojom

Tabela 18. Vrednosti korelacija nagiba terena (%) i parametara dobijenih MASS analizom sa prikazom statističke značajnosti (p). Statistički značajne korelacije predstavljene su crvenom bojom

Tabela 19. Vrednosti Mahalanobisovih distanci između parova grupa ekspozicije (gornja polovina matrice) i statistička značajnost razlika među njima (p vrednost, donja polovina matrice). Statistički značajno različite distance ($p < 0,05$) označene su iskošenim brojevima

Tabela 20. Korelacione matrice (kolor mape) za kategorije ekspozicije. Donje polovine matrica predstavljaju Pirsonove koeficijente korelacije, a gornje polovine statistički značajne razlike među parovima (p vrednosti)

Tabela 21. Vrednosti parametara genetičkog diverziteta kod kitnjaka Tabela

22. Vrednosti parametara genetičkog diverziteta kod medunca Tabela 23.

Vrednosti parametara genetičkog diverziteta kod sladuna Tabela 24.

Vrednosti parametara genetičkog diverziteta kod cera

Tabela 25. Standardni parametri genetičkog diverziteta ispitivanih populacija četirivrste hrastova

Tabela 26. Vrednosti F_{ST} i Nm parametara između parova populacija kitnjaka, medunca i sladuna

Spisak slika

Slika 1. Geografska rasprostranjenost osam sekcija roda *Quercus* L. (modifikovana prema Denk et al., 2017)

Slika 2. List i plod cera

Slika 3. Oblast rasprostranjenosti i pojednostavljena horološka mapa cera (modifikovana prema de Rigo et al., 2016)

Slika 4. List i plod sladuna

Slika 5. Oblast rasprostranjenosti i pojednostavljena horološka mapa sladuna (modifikovana prema Mauri et al., 2016)

Slika 6. List i plod kitnjaka

Slika 7. Oblast rasprostranjenosti i pojednostavljena horološka mapa kitnjaka (modifikovana prema Eaton et al., 2016)

Slika 8. List i plod medunca

Slika 9. Oblast rasprostranjenosti i pojednostavljena horološka mapa medunca (modifikovana prema Pasta et al., 2016)

Slika 10. Karta vegetacije Kosmaja (modifikovana prema Sredojev et al. 2011)

Slika 11. Karta zaštićenog prirodnog dobra „Kosmaj" (modifikovana prema Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020)

Slika 12. Prikaz istraživanja sprovedenih u okviru doktorske disertacije

Slika 13. Prostorni raspored selekcionisanih individua analiziranih autohtonih hrastova (cer – *Quercus cerris*, sladun – *Quercus frainetto*, kitnjak – *Quercus petraea*, medunac – *Quercus pubescens*), sa prikazom granica II i III zone zaštite na području PIO „Kosmaj"

Slika 14. Konfiguracija 13 specifičnih tačaka na listu hrastaSlika 15.

Osnovni koraci analize neutralne varijabilnosti

Slika 16. Dendrogram selekcionisanih individua cera dobijen analizom grozdovanja naosnovu parametara lista

Slika 17. Prosečne konture lista selekcionisanih individua cera dobijene eliptičnomFurijeovom analizom

Slika 18. Ordinacija selekcionisanih individua cera duž prve (PC-1) i druge (PC-2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 19. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika lista cera (tamno plava boja
– promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 20. Dendrogram selekcionisanih individua kitnjaka dobijen analizom grozdovanja na osnovu parametara lista

Slika 21. Prosečne konture lista selekcionisanih individua kitnjaka dobijene eliptičnom Furijeovom analizom

Slika 22. Ordinacija selekcionisanih individua kitnjaka duž prve (PC-1) i druge (PC- 2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 23. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika lista kitnjaka (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 24. Dendrogram selekcionisanih individua medunca dobijen analizom grozdovanja na osnovu parametara lista

Slika 25. Prosečne konture lista selekcionisanih individua medunca dobijene eliptičnom Furijeovom analizom

Slika 26. Ordinacija selekcionisanih individua medunca duž prve (PC-1) i druge (PC- 2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 27. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika lista medunca (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 28. Dendrogram selekcionisanih individua sladuna dobijen analizom grozdovanja na osnovu parametara lista

Slika 29. Prosečne konture lista selekcionisanih individua sladuna dobijene eliptičnom Furijeovom analizom

Slika 30. Ordinacija selekcionisanih individua sladuna duž prve (PC-1) i druge (PC- 2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 31. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika lista sladuna (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 32. Srednja vrednost, standardna greška i 95% interval poverenja za a) dužinu, b) širinu, c) površinu i d) odnos dužina/širina kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 33. Srednja vrednost, standardna greška i 95% interval poverenja za a) fluktuirajuću asimetriju, b) zaobljenost, c) cirkularnost i d) solidnost kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 34. Ordinacija selekcionisanih individua četiri vrste hrasta duž prve (PC-1) i druge (PC-2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 35. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika među vrstama (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Slika 36. Vrednosti nadmorske visine na području PIO „Kosmaj" dobijene preko digitalnog modela terena

Slika 37. Srednja vrednost, standardna greška i 95% interval poverenja vrednosti nadmorske visine za cer, kitnjak, medunac i sladun

Slika 38. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i dužine lista kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 39. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i širine lista kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 40. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i površine lista kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 41. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i cirkularnosti lista kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 42. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i zaobljenosti lista kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 43. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i solidnosti lista kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 44. Vrednosti nagiba terena (%) na području PIO „Kosmaj" dobijene preko digitalnog modela terena

Slika 45. Srednja vrednost, standardna greška i 95% interval poverenja vrednosti nagiba terena (%) za cer, kitnjak, medunac i sladun

Slika 46. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i fluktuirajuće asimetrije kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 47. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i zaobljenosti kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 48. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i cirkularnosti kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 49. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i širine lista kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 50. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i odnosa dužina/širina kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

Slika 51. Kategorije ekspozicije na području PIO „Kosmaj" dobijene preko digitalnog modela terena

Slika 52. Broj selekcionisanih individua uzorkovan po kategoriji ekspozicije za ceo uzorak i za vrste pojedinačno (cer, kitnjak, medunac, sladun). Skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S – jug, SE – jugoistok, E – istok

Slika 53. Kanonijska diskriminantna analiza kategorija ekspozicije. Skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S – jug, SE – jugoistok, E – istok

Slika 54. Kanonijska diskriminantna analiza parametara dobijenih MASS analizom za kategorije ekspozicije

Slika 55. PCoA analiza obavljena na osnovu genetičkih distanci kod kitnjaka (*Q. petraea*), medunca (*Q. pubescens*) i sladuna (*Q. frainetto*)

Slika 56. PCoA analiza obavljena na osnovu genetičkih distanci kod kitnjaka (*Quercus petraea*), medunca (*Quercus pubescens*) i sladuna (*Quercus frainetto*) na nivou individua

Slika 57. Optimalan broj genetičkih grupa kod ispitivanih populacija hrastova utvrđen primenom ΔK Evanno-vog modela

Slika 58. Rezultati STRUCTURE analize za broj genetičkih grupa K = 4 Slika

59. Rezultati STRUCTURE analize za broj genetičkih grupa K = 6 Slika 60.

PCoA analiza obavljena na osnovu genetičkih distanci za cer

Slika 61. Gradilište koje ulazi direktno u šumu (lokalitet Košutica) na Kosmaju (*autor*: Šijačić-Nikolić, 2022)

Slika 62. Izdanačko poreklo šuma na Kosmaju (*autor*: Šijačić-Nikolić, 2022)

Slika 63. Kamenolom i divlja deponija na Kosmaju (lokalitet Košutica) (*autor*:Jovanović, 2022)

Slika 64. Sušenje starih i oslabljenih stabala medunca na Kosmaju (*autor*: Šijačić-Nikolić, 2022)

Slika 65. Erozija zemljišta nakon seče šume na Kosmaju (*autor*: Šijačić-Nikolić,2022)

Slika 66. Prioriteti konzervacije populacija istraživanih vrsta hrastova na područjuPIO „Kosmaj”

1. UVOD

Genetički diverzitet predstavlja deo sveukupnog biodiverziteta, odnosno, diverzitet alela u okviru individua, populacija ili vrsta. Veći genetički diverzitet omogućava bolje prilagođavanje uslovima životne sredine, zbog čega predstavlja osnovu evolucionih procesa. Smanjenje genetičkog diverziteta, stoga, predstavlja i smanjenje potencijala prilagođavanja stanju i promenama u životnoj sredini. Evoluciono- adaptacioni činioci koji utiču na genetičku strukturu određene vrste i doprinose procesu evolucije, a time i prilagođavanju različitim uslovima staništa, su prirodna selekcija, genetički drift, mutacije i migracije gena (Morić, 2016).

Varijabilnost vrsta može se posmatrati kao kompleks dveju kategorija – adaptivne varijabilnosti, koja je pod uticajem faktora sredine i neutralne varijabilnosti, koja ne podleže uticaju sredine. Analiza adaptivne varijabilnosti obuhvata upoznavanje raspona ekoloških uslova staništa vrste i morfoloških, anatomskih i fenoloških svojstava individua na različitim staništima, dok neutralna varijabilnost, koja može biti procenjena primenom tehnika DNK profilisanja, ne uključuje adaptivne razlike između individua (Milovanović et al., 2021). Upravo su hrastovi (rod *Quercus* L.) dobar model za istraživanje adaptivne i neutralne varijabilnosti, zbog svoje ekološke dominacije i izuzetnog diverziteta (Cavender-Bares, 2019). Proučavanje genetičke varijabilnosti hrastova pomaže određivanju konzervacionog i ekološkog statusa njegovih vrsta, na koje utiču ne samo broj individua, već i ukupno povećanje ili smanjenje populacija tokom vremena, stope uspešnosti razmnožavanja i poznati ugrožavajući faktori. Hrastovi su najčešće dominantni ili kodominantni elementi vegetacije, sa većim brojem široko rasprostranjenih i ekološki raznovrsnih vrsta, koje poseduju snažan potencijal ekološke adaptacije, praćen izraženom varijabilnošću morfologije lista i visokim potencijalom za introgresiju i mrežastu evoluciju, odnosno, nastanak nove linije spajanjem dve predačke linije, što dovodi do formiranja filogenetske mreže (Simeone et al., 2018).

Iako se **adaptivna varijabilnost** drvenastih vrsta može proučavati od nivoa čitavih individua do nivoa pojedinačnih morfoloških struktura, morfološke karakteristike lista najčešće su korišćene za istraživanje ovog tipa varijabilnosti kod hrastova (Jovanović et al., 2022a-c, 2023a-c). Kada se posmatra list kao morfološka struktura, iako su njegovi veličina i oblik, uglavnom, određeni genetičkim faktorima, na njih utiču i faktori sredine (Tsukaya, 2005), zbog čega je važno uzimanje sredinskih faktora u obzir prilikom objašnjavanja morfoloških razlika i adaptacija na uslove staništa. Adaptacije šumskih drvenastih vrsta na heterogene uslove životne sredine postale su atraktivna oblast istraživanja, posebno tokom poslednjih decenija, delom zbog potrebe razumevanja odgovora ovih dugovečnih sesilnih organizama, važnih i u ekološkom i u ekonomskom aspektu, na brze sredinske promene nastale pod antropogenim uticajem (Kerkez Janković et al., 2019). Fenotipska plastičnost je pojava kod koje određeni genotip stvara različite fenotipove u različitim uslovima sredine, odnosno, uključuje stvaranje odgovarajućeg podudaranja između sredine i fenotipa (Pigliucci & Preston, 2004). Ova interakcija između biljke i životne sredine otkriva obrasce fenotipske plastičnosti u određenim delovima biljke (Sultan, 2000). Schlichting & Levin (1986) su predložili da je stepen variranja u plastičnosti između taksona delom izazvan

adaptacijama i dodali da su selekcija, genetički drift i disrupcija genetičkog sistema pokretačke snage koje dovode do evolucionih promena u fenotipskoj plastičnosti. Da bi prevazišle ovo ograničenje, biljke se adaptiraju kako bi smanjile negativne efekte štetnih sredinskih uslova (Rozendaal et al., 2006). Adaptacija je tip plastičnog odgovora koji pomaže organizmu da se prilagodi različitim sredinama, radi uspešnog preživljavanja, a članovi grupe organizama se razlikuju u adaptivnoj sposobnosti, što dovodi do diverziteta vrsta (Sultan, 2000).

Sa druge strane, molekularni markeri predstavljaju značajan izvor informacija o **neutralnoj varijabilnosti** vrsta. Molekularni markeri predstavljaju bilo koje fenotipsko svojstvo koje je determinisano malim brojem alela, ili fragmente DNK molekula različitih veličina. Istraživanja genetičkog diverziteta šumskog drveća analizom genetičkih markera ranije su se bazirala isključivo na analizama biohemijskih markera – izoenzima, čija je upotreba bila ograničena malom varijabilnošću u pojedinim populacijama (Milovanović & Šijačić-Nikolić, 2009; Morić, 2016). Danas su za procenu genetičkog diverziteta najčešće u upotrebi DNK markeri, koji se koriste za proučavanje prirodnih i veštačkih populacija radi opisivanja načina razmnožavanja, nivoa inbridinga, prostornih i vremenskih obrazaca variranja genetičkog diverziteta, procene taksonomskih i filogenetskih odnosa, procene uticaja gazdovanja na genetički diverzitet, kao i stvaranja genskih mapa (Morić, 2016).

Osvrt na taksonomski status roda *Quercus* L. značajan je za njegovu konzervaciju. U svrhu određivanja veza među taksonima prvenstveno se koriste molekularni markeri, dok druge metode često budu zanemarene, kao što je slučaj sa morfometrijom (granom morfologije koja na kvantitativan način analizira i interpretira razlike u veličini i obliku morfoloških struktura). Međutim, u taksonomiji i drugim srodnim oblastima, molekularne metode i morfometrija se međusobno dopunjuju i često se mogu paralelno interpretirati, a sve radi lakšeg razumevanja porekla fenotipskih razlika među vrstama i populacijama (Klingenberg, 2010). Noviji napredak u istraživanju pokazao je da kombinacija morfoloških i molekularnih markera može značajno doprineti upoznavanju sveukupnog diverziteta hrastova (Viscosi et al., 2012; Rellstab et al., 2016).

Identifikovanje genetičke varijabilnosti hrastova je od ključnog značaja za realizaciju konzervacionih ciljeva, jer je pouzdana informacija o distribuciji varijabilnosti preduslov za adekvatno sprovođenje procesa selekcije, oplemenjivanja i konzervacije (Milovanović & Šijačić-Nikolić, 2009). Na globalnom nivou, postoje brojne pretnje integritetu šumskih genetičkih resursa koje, između ostalog, uključuju uništavanje šuma i promene u korišćenju zemljišta, neodgovarajuće korišćenje šuma i loše prakse gazdovanja, zagađenje i klimatske promene. Hrastovi su dugovečni, visoko heterozigotni organizmi, koji su razvili prirodne mehanizme za održavanje visokog nivoa unutarvrsne varijabilnosti, kao što su visoke stope ukrštanja i širenje polena i semena na širokim područjima. Ovi mehanizmi, u kombinaciji sa prirodnim sredinama, koje su često promenljive u vremenu i prostoru, doprinele su evoluciji vrsta hrastova u neke od genetski najvarijabilnijih organizama. Unutarvrsna genetička varijabilnost neophodna je da bi se osigurala buduća prilagodljivost vrsta, kao i da bi se omogućila uspešna veštačka selekcija i programi uzgoja (Amaral et al., 2004).

Šumski genetički resursi suočeni sa brojnim negativnim faktorima, koji često deluju u sinergiji, što otežava njihovu procenu (Šijačić-Nikolić et al., 2016; Nonić & Šijačić-Nikolić, 2019; Šijačić-Nikolić & Nonić, 2019). Gubitak staništa i prekomerna

eksploatacija prirodnih resursa su među glavnim pokretačima izumiranja vrsta širom planete. Ovi faktori deluju u različitim razmerama, u širokom rasponu u vidu promena u kompoziciji i konfiguraciji predela, a na lokalnom nivou u vidu prekomerne eksploatacije prirodnih resursa. Brojna istraživanja sugerišu da su promene na lokalnom, kao i one na globalnom nivou, u stanju da izazovu genetičku eroziju u prirodnim populacijama. Ugroženost šumskih genetičkih resursa posebno dolazi do izražaja na područjima koja su pod jakim antropogenim uticajem. Zbog toga se šumski genetički resursi suočavaju sa brojnim negativnim faktorima koji ih ugrožavaju i dovode do smanjenja genetičke varijabilnosti. Akronim **HIPPO**, koji označava pet osnovnih uzroka gubitka biodiverziteta, dobar je model za prikaz ugrožavajućih faktora koji imaju negativan efekat na šumske ekosisteme i varijabilnost vrsta. Ovi faktori su gubitak staništa (***H**abitat alteration*), invazivne vrste (***I**nvasive species*), zagađenje (***P**ollution*), rast ljudske populacije (***P**opulation growth*) i prekomerna eksploatacija (***O**verexploitation*) (Torrance, 2010).

Promene staništa, uništavanje šuma i njihova degradacija jedni su od glavnih uzročnika gubitka genetičkog diverziteta hrastova. Degradacija staništa je prvenstveno izazvana promenom prvobitne namene korišćenja šumskog zemljišta za potrebe poljoprivrede, širenja naselja i eksploatacije sirovina. Čiste seče šuma i prekomerno korišćenje drveta značajno mogu ugroziti genetičke resurse, jer dovode do uništavanja staništa i stvaranja sekundarnih ekosistema koji se odlikuju smanjenim diverzitetom i povećanom fragmentacijom staništa. Fragmentacija šuma dalje dovodi do smanjenja genetičkog diverziteta zbog smanjene razmene gena, a time i do formiranja reproduktivno izolovanih manjih populacija sklonih inbridingu. Pored pomenutog, seča veoma starih stabala dovodi do gubitka izuzetno retkih genotipova sa izraženim adaptivnim potencijalom. Takođe, širenje alohtonih i invazivnih vrsta uglavnom je uslovljeno prethodnim promenama ekosistema i može dovesti do ugrožavanja biodiverziteta na svim nivoima (na nivou gena, vrsta i ekosistema) (Šijačić-Nikolić & Nonić, 2019). Pored gubitka staništa i širenja alohtonih vrsta, zagađenje vode, vazduha i zemljišta može značajno ugroziti genetičke resurse hrastova. Ovo zagađenje najčešće je izazvano saobraćajem i industrijom i značajno može uticati na vitalnost vrsta i čitavih ekosistema. Zagađenje, prekomerna eksploatacija resursa, unošenje invazivnih vrsta i neodgovarajuća upotreba šumskog genetičkog materijala usko su povezani sa sve većim trendom rasta ljudske populacije, koji se smatra još jednim od faktora koji značajno utiče na ugrožavanje genetičkih resursa (Šijačić-Nikolić et al., 2016). Svi pomenuti negativni efekti posebno su naglašeni pod sve većim dejstvom klimatskih promena. Genetički diverzitet hrastova predstavlja jednu od značajnih komponenti za suočavanje sa problemom globalnih klimatskih promena, ali i sam podleže efektima ovih promena, što dovodi do smanjenja njegove vitalnosti, otpornosti i mogućnosti za adaptaciju na novonastale uslove sredine.

1.1. TAKSONOMSKA PRIPADNOST I RASPROSTRANJENOST RODA *QUERCUS* L.

Rod *Quercus* L. spada u porodicu Fagaceae u okviru reda Fagales. Fagaceae je velika porodica, koja obuhvata više od 1000 vrsta raspoređenih u 8 rodova, uglavnom rasprostranjenih na severnoj hemisferi, ali se pojedine vrste javljaju i na južnoj. U Evropi, predstavnici ove porodice su bukve (rod *Fagus* L.), kesteni (rod *Castanea* Mill.) i hrastovi (rod *Quercus* L.) (Sterry, 2007).

Hrastovi su se pojavili pre oko 56 miliona godina, doživeli radijaciju i širili se duž severne hemisfere. Danas se njihova staništa protežu od ekvatora (Kolumbija i Indonezija), sve do borealnih regiona do 60° severne geografske širine u Evropi, i od nivoa mora do 4000 m nadmorske visine u Junan provinciji u Kini. Njihova staništa obuhvataju predele od gustih nizijskih šuma do otvorenih travnjaka i savana, i od alkalnog do kiselog zemljišta. Rod *Quercus* L. je diverzifikovao u brojne vrste u Americi i Aziji, sa najvećim diverzitetom opserviranim na 15° do 30° severne geografske širine u Meksiku i istočnoj Aziji. U Evropi je bogatstvo vrsta manje (do 30 vrsta), ali je ovaj rod rasprostranjen širom kontinenta. Poslednja istraživanja ukazuju da rod hrastova obuhvata približno 435 vrsta (Denk et al., 2017). Rod *Quercus* L. je, svakako, među vrstama najbogatijim rodovima severne hemisfere, zajedno sa rodom *Salix* L. (Tynkevich & Volkov, 2019; Cavender-Bares, 2019; Kremer & Hipp, 2020).

Taksonomska struktura roda *Quercus* L. vekovima je predstavljala nedoumicu za istraživače. U svom autorskom delu, Karl Line (Linné, 1753) je nabrojao 14 vrsta hrastova iz Evrope i Severne Amerike: *Q. alba*, *Q. cerris* (= *Q. petraea* (Matt.) Liebl.), *Q. robur* i *Q. prinus*; *Q. rubra*, *Q. nigra* i *Q. phellos*; *Q. cerris*, *Q. ægilops* (= Q. *macrolepis* Kotschy), *Q. suber*; *Q. ilex*, *Q. coccifera*, *Q. gramuntia* (= *Q. ilex*) i *Q. smilax* (= *Q. ilex*). Ovaj broj je porastao na 150 vrsta kada je Loudon (1838, 1839) dao prvu infrageneričku klasifikaciju hrastova prepoznajući deset sekcija, na osnovu reproduktivnih karakteristika i karakteristika lista. Osam sekcija (*Albæ*, *Prinus*, *Robur*; *Nigræ*, *Phellos*, *Rubræ*; *Cerris*; *Ilex*) uključivale su vrste koje je opisao Line, a pored njih, dodate su zimzelene vrste jugoistočnog dela Severne Amerike (sekcija *Virentes*) i hrastovi Nepala (sekcija *Lanatæ*). Pomenuta klasifikacija je izuzetna iz razloga što je ustanovljena fundamentalna podela evropskih hrastova (sekcije *Cerris*, *Ilex* i *Robur*). Ova podela, iako modifikovana, javlja se u gotovo svim kasnijim klasifikacijama i odgovara kladama većine recentnih molekularno-filogenetskih stabala. Ørsted (1871) je prvi prepoznao važnu azijsku grupu hrastova i povezao je sa grupom *Cyclobalanus* (= *Lithocarpus*), hrastovima suptropske i tropske istočne Azije, za koju je smatrano da je odvojena od roda *Quercus* u rod *Cyclobalanopsis*, u okviru subtribusa *Quercinae*. Ovaj koncept su usvojili i kasniji istraživači i još uvek se koristi u Flori Kine (Huang et al., 1999; Flora of China, 2016). U okviru drugog roda tribusa *Quercinae*, *Quercus* je opisan sa pet podrodova i ukupno 16 sekcija i 174 vrste.

Tokom ranog 20. veka, pojavila su se dva nova koncepta klasifikacije, koja su od tada korišćena među istraživačima. Centralni/istočni evropski koncept prati principe klasifikacije koje je dao Schwarz (1936), dok zapadni/južni evropski koncept prati istraživanja koje je sprovela Camus (1938, 1939, 1954). Deceniju ranije, Trelease (1924) je dao sveobuhvatan pregled američkih hrastova, navodeći 371 vrstu u 138 serija i tri podroda/sekcije: *Leucobalanus*, *Erythrobalanus* i *Protobalanus*. Camus i Schwarz su delimično pratili ovu podelu američkih hrastova prilikom posmatranja njihovih

evroazijskih srodnika. Camus je pratila opštu šemu koju je dao Ørsted, ali je prepoznala jedinstven rod *Quercus* sa dva podroda – *Cyclobalanopsis* i *Quercus*. Schwarz (1936) je, takođe, u osnovi pratio koncept koji je dao Ørsted, ali je izdvojio dva tribusa sa po dva roda (*Cyclobalanopsis* + *Erythrobalanus*, *Macrobalanus* + *Quercus*). Novitet u ovom sistemu bio je podrod *Sclerophyllodrys*, u koji su svrstani mnogi sklerofilni hrastovi Evroazije, podrod *Protobalanus* (uključujući azijsku seriju *Spathulatae*) i šest zimzelenih serija podroda *Erythrobalanus*. Druga važna razlika u odnosu na Camus je to što je Schwarz usvojio globalni koncept grupisanja severnoameričkih i evroazijskih hrastova, koji je dao Ørsted, u iste sekcije (*Dascia*, *Gallifera*, *Prinus*, *Roburoides*). Monografski rad vezan za klasifikaciju hrastova dao je Menitsky (1984), u kome se bavio azijskim hrastovima. Osim jedne vrste (*Q. suber*), Menitsky je smestio sve *Ilex* hrastove u podrod *Heterobalanus*, dok su *Cerris* hrastovi (svi osim *Q. suber*) formirali jednu od dve sekcije podroda *Quercus*.

Najčešće korišćenu klasifikaciju hrastova dao je Nixon (1993), koji je usvojio koncept koji je dala Camus, ali je spojio sekcije *Cerris* i *Euquercus* u jedinstvenu sekciju *Quercus*. Na osnovu poslednjih modifikacija prvobitne šeme koju je dao Ørsted, rod *Quercus* je podeljen u dva podroda – *Cyclobalanopsis* i *Quercus*. Podrod *Quercus* uključuje dve prirodne sekcije – *Lobatae* i *Protobalanus*, i jednu veštačku, heterogenu sekciju severne hemisfere – *Quercus*.

Postoje dva glavna uzroka razlika u tradicionalnoj klasifikaciji koja se bazira na morfologiji – procena morfoloških karaktera i razmatrane geografske oblasti. Konvergentna morfološka evolucija je čest fenomen kod roda *Quercus* i porodice Fagaceae uopšte. Na primer, opisi sekcija koje je dao Loudon (1838), *Ilex* (evroazijski *Q. ilex* i srodnici) i *Virentes* (severnoamerički *Q. virens* Ait. [= *Q. virginiana* Miller]) su u suštini identični. Iz sličnih razloga, Ørsted (1871) uključuje sekciju *Ilex* u podrod *Lepidobalanus*, proširujući ovu sekciju da uključuje zimzelene severnoameričke hrastove (sekcija/podsekcija *Virentes*). Sa druge strane, *Q. lanata* je uključen u sekciju *Prinus*.

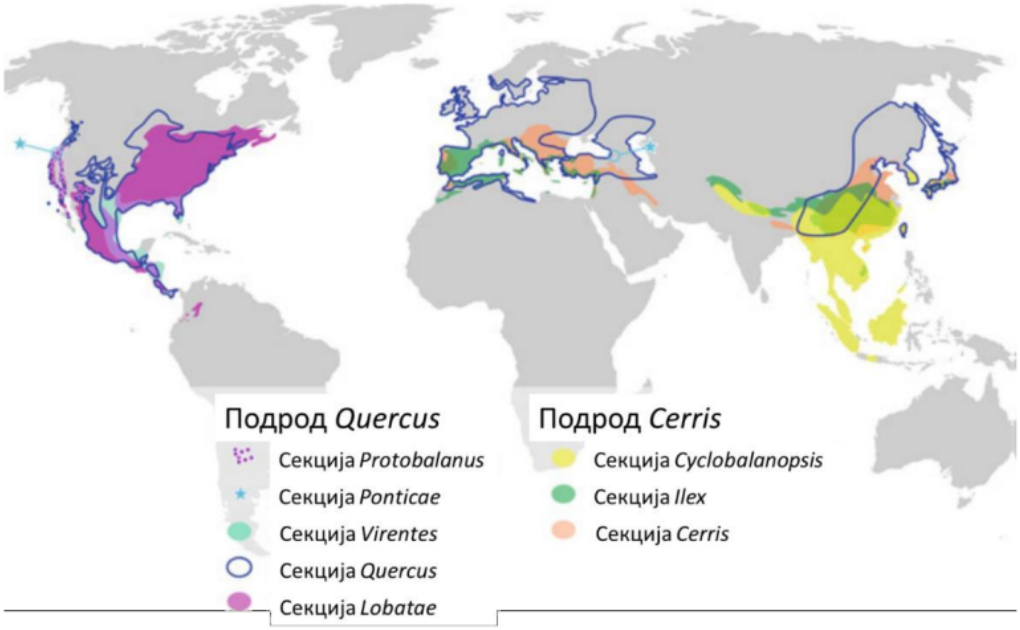
Dakle, makroevolucione studije pratile su liniju diverzifikacije od nastanka roda (pre oko 56 miliona godina) do danas. Filogenetska istraživanja hrastova kretala su se od studija morfologije i biogeografije (Trelease, 1924; Camus, 1938) do morfološke kladistike (Nixon, 1993). Pomenuta istraživanja su učinila evidentnim potrebu za molekularnim podacima za razlikovanje hipoteza koje naglašavaju morfologija, odnosno biogeografija. Prve molekularne filogenetske studije analizirale su mali broj gena (Whittemore & Schaal, 1991; Manos et al., 1999) i uspele su da otkriju mnoge osnovne veze, ali ne i one na nivou vrste, na vrhovima filogenetskih stabala (Kremer & Hipp, 2020).

Prvu molekularnu filogeniju za *Quercus* na dovoljno velikom uzorku dali su Manos et al. (2001), na osnovu sekvenci nukleotidnog ribozomalnog regiona i podataka pojedinih plastida. Iako je pomenuta filogenija uključivala ograničeni uzorak vrsta Starog Sveta, dovela je u pitanje tradicionalne klasifikacije koje su dali Ørsted (1871) i Nixon (1993). Ovi i drugi autori kasnije (Oh & Manos, 2008; Denk & Grimm, 2010; Hubert et al., 2014) su na osnovu molekularnih istraživanja pokazali postojanje dve, recipročno monofiletske grupe hrastova, koje mogu biti formulisane kao dva podroda sa osam filogenetskih linija, prihvaćenih kao sekcije, koje se poklapaju sa morfološkim grupama koje su prvobitno dali Trelease (1924) i Menitsky (1984):

- Podrod *Quercus*:

- sekcija *Protobalanus* (uključuje pet vrsta u jugozapadnoj Severnoj Americi i pet vrsta u severozapadnom Meksiku);
- sekcija *Ponticae* (uključuje dve vrste u planinskim oblastima severoistočne Turske i zapadne Gruzije (Transkavkazija) i u zapadnoj Severnoj Americi (od severne Kalifornije do južnog Oregona));
- sekcija *Virentes* (uključuje sedam vrsta u jugoistočnoj Severnoj Americi, Meksiku, na Kubi i u Centralnoj Americi);
- sekcija *Quercus* (uključuje 146 vrsta u Severnoj Americi, Meksiku, Centralnoj Americi, zapadnoj Evroaziji, istočnoj Aziji i severnoj Africi);
- sekcija *Lobatae* (uključuje 124 vrste u Severnoj Americi, Meksiku, Centralnoj Americi i Kolumbiji u Južnoj Americi).

- Podrod *Cerris*:
  - sekcija *Cyclobalanopsis* (uključuje 90 vrsta u tropskim u suptropskim oblastima Azije, uključujući južne Himalaje);
  - sekcija *Ilex* (uključuje 36 vrsta u Evroaziji i severnoj Africi);
  - sekcija *Cerris* (uključuje 13 vrsta u Evroaziji i severnoj Africi) (slika 1) (Denk et al., 2017).



Slika 1. Geografska rasprostranjenost osam sekcija roda *Quercus* L. (modifikovanaprema Denk et al., 2017)

Većina studija mikroevolucije hrastova su kvantifikovale stepen evolucionih promena u okviru određenog vremenskog i prostornog intervala ili brzinu i mehanizme evolucionih procesa koji pokreću evolucione promene. Generalno, mikroevolucioni procesi su istraživani sinhronizovanim praćenjem osobina i genetičkih markera u *in*

situ i *ex situ* uslovima. Većina ovih istraživanja bila su fokusirana na vrste hrastova koje su široko rasprostranjene u severnoj umerenoj zoni, odnosno na populacije koje su nastale tokom poslednjeg postglacijalnog zagrevanja (tokom holocena). Glavne evolucione promene tokom ovog perioda izazvane su mikroekološkim promenama, odnosno zagrevanjima i hlađenjima koja su poznata kao „mala ledena doba". Uticaj klimatskih promena, koje traju svega nekoliko vekova, na šumske ekosisteme, zabeležen je u severnim oblastima (MacDonald et al., 2008). U drugim delovima sveta, kao što je Meksiko, gde je diverzitet hrastova najveći, klimatske promene bile su praćene formiranjem planina tokom holocena (Ferrari et al., 2012). Klimatske i orogene promene služile su kao snažni selektivni pokretači, utičući na migraciju, kolonizaciju novih staništa, adaptaciju i introgresiju (Kremer & Hipp, 2020).

1.1.1. Rasprostranjenost hrastova u Evropi

U evropskom i mediteranskom regionu prisutna je izuzetna morfološka varijabilnost roda *Quercus* L. Greuter et al. (1986) su nabrojali 31 vrstu, uključujući pet koje su pod znakom pitanja, kao i 17 subspecijskih entiteta. Camus (1938, 1939) je prepoznala još veći diverzitet od ukupno 76 vrsta. Pomenuta varijabilnost, zbog činjenice da hrastovi veoma lako hibridizuju i da je tačna definicija vrste veoma teška, bila je predmet diskusija tokom nekoliko decenija. Novije klasifikacije pokazuju tendencije redukcije broja vrsta, ističući sličnosti više nego razlike – na primer, u prvom izdanju Flore Evrope (Schwartz, 1964) identifikovano je 25 vrsta hrastova u Evropi, što je smanjeno na 20 u drugom izdanju (Schwartz, 1993). Razlikovanje vrsta hrasta uglavnom je vršeno na osnovu morfoloških parametara, morfologije ploda, genetičkih i biohemijskih markera (Bussotti & Grossoni, 1997). Proučavajući hloroplasnu DNK kod evropskih hrastova na preko 2600 populacija koje uključuju osam vrsta, Petit et al. (2005) su pokazali da većina haplotipova pronađena u severnoj Evropi takođe postoji i na jugu, dok u suprotnom to nije slučaj, ukazujući da je većina opserviranih mutacija nastala nakon postglacijalne rekolonizacije. Ovi autori takođe sugerišu da postoje i regionalne razlike u nivoima diferencijacije, koje mogu biti povezane sa intenzitetom prošlog ili aktuelnog gazdovanja šumama širom Evrope, ali i sa nivoima fragmentacije oblasti rasprostranjenosti u okviru ovih regiona.

Za najveći deo Evrope rod *Quercus* L. je najznačajniji vegetacijski i floristički fenomen. Na primer, lužnjak (*Quercus robur* L.) je vrsta koja u Evropi ima najveću oblast rasprostranjenosti u odnosu na ostale lišćarske vrste, kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) je značajna brdsko-planinska vrsta, dok mnoge vrste imaju regionalni biogeografski značaj. U okviru svih evropskih vrsta hrastova ističe se dinamičan proces specijacije koji se ogleda u unutarvrsnom polimorfizmu i bogatstvu podvrsta, varijeteta i formi (Janković, 1973). Neke od vrsta hrastova koje se javljaju u Evropi (i šire) su *Quercus dalechampii* Ten. (jugoistočna Evropa), *Q. faginea* Lam. (jugozapadna Evropa), *Q. hartwissiana* Steven (jugozapadna Bugarska, severna Turska, zapadna Gruzija, jugozapadna Rusija), *Q. cerris* L. (južna Evropa i jugozapadna Azija), *Q. petraea* (Matt.) Liebl. (Evropa i Anatolija), *Q. pubescens* Willd. (Evropa i Anatolija), *Q. robur* L. (Evropa i zapadna Azija), *Q. canariensis* Willd. (Španija i Severna Afrika), *Q. frainetto* Ten. (jugoistočna Evropa), *Q. pyrenaica* Willd. (jugozapadna Evropa), *Q. coccifera* L. (južna Evropa), *Q. ilex* L. (južna Evropa i severozapadna Afrika), *Q. infectoria* Oliv. (južna

Evropa i jugozapadna Azija), *Q. ithaburensis* Decne. (jugoistočna Evropa i jugozapadna Azija), *Q. suber* L. (jugozapadna Evropa i severozapadna Azija), *Q. trojana* Webb (jugoistočna Evropa).

1.1.2. Rasprostranjenost hrastova u Srbiji

Balkansko poluostrvo predstavlja jedno od najznačajnijih područja Evrope u pogledu filogeneze roda *Quercus*. Ovo je značajno područje na kome se odvijala postglacijalna, i uopšte posttercijerna i tercijerna evolucija evropskih vrsta hrastova, zahvaljujući refugijalnom karakteru ove oblasti, specifičnoj klimi i reljefu (Janković, 1973).

Od predstavnika roda *Quercus* na teritoriji Republike Srbije prisutni su cer (*Quercus cerris* L.) – široko rasprostranjen u Srbiji, osim u Vojvodini; balkanski kitnjak (*Quercus dalechampii* Ten.) – rasprostranjen na Kopaoniku, levoj obali Dervente, Maljenu, Suvoboru, Goču, Kosovu; sladun (*Quercus frainetto* Ten.) – rasprostranjen u istočnim brdskim predelima Srbije; kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) – rasprostranjen od Fruške gore i Vršačkih planina na severu, do Metohije na jugu, od Tare na zapadu do Stare planine na istoku Srbije; medunac (*Quercus pubescens* Willd.) – široko rasprostranjen, posebno u južnim krajevima Srbije, ređe se javlja u Vojvodini; lužnjak (*Quercus robur* L.) – široko rasprostranjen, posebno u nizijama i dolinama većih reka u Vojvodini, Mačvi i Pomoravlju; makedonski hrast (*Quercus trojana* Webb) – rasprostranjen na krajnjem jugu Srbije (Metohija); stepski lužnjak (*Quercus pedunculiflora* K.Koch) – rasprostranjen u šumama kraj Timoka (Blaženčić et al., 2005; Kostić, 2013). Šume hrasta zauzimaju 25% ukupnog šumskog fonda Republike Srbije. Stanje šuma pojedinih vrsta hrastova analiziranih u ovoj doktorskoj disertaciji prikazano je u tabeli 1.

Tabela 1. Stanje šuma cera, sladuna, kitnjaka i medunca na teritoriji Republike Srbije(prema Banković et al,, 2008)

		Cer	Sladun	Kitnjak	Medunac
Površina	Ukupna površina (ha)	345,200	159,600	173,200	10,400
	Ukupna površina u državnom vlasništvu	24,1%	33,8%	44,3%	52,2%
Poreklo	Učešće u površini visokih šuma	5,7%	11,3%	25,9%	/
	Učešće u površini izdanačkih šuma	94,3%	88,7%	74,1%	100%
Očuvanost	Očuvane sastojine	74,4%	84,0%	73,7%	76,9%
	Razređene sastojine	23,8%	14,8%	23,3%	19,3%
	Devastirane sastojine	1,8%	1,2%	3,0%	3,8%
Mešovitost	Čiste sastojine lišćara	53,7%	53,1%	57,5%	50,0%
	Mešovite sastojine lišćara	45,3%	46,4%	40,9%	42,3%
	Mešovite sastojine lišćara i četinara	1,0%	0,5%	1,6%	7,7%

Iako je većina vrsta roda *Quercus* L. koja je prisutna u Republici Srbiji svrstana u kategoriju „poslednja briga" (LC, *Least Concern*), prema kriterijumima Međunarodne unije za zaštitu prirode (IUCN, *International Union for Conservation of Nature*), na nacionalnom nivou dve vrste su zaštićene Uredbom o zaštiti prirodnih retkosti (Službeni glasnik Republike Srbije br. 50/93 i 93/93) – stepski lužnjak (*Quercus pedunculiflora* K. Koch) i makedonski hrast (*Quercus trojana* Webb) (Rivers et al., 2019).

1.2. OSNOVNE ODLIKE ISTRAŽIVANIH VRSTA

1.2.1. Cer (*Quercus cerris* L.)

Vrsta *Quercus cerris* L., poznat po narodnom nazivu cer, predstavlja krupnu, brzorastuću drvenastu vrstu koja može narasti do 40 m u visinu i dostići prečnik stabla od 1,5 do 2 m, sa jako dobro razvijenim korenovim sistemom. Može dostići starost od 120 do 150 godina. Kora je bledo ljubičasta do siva i duboko izbrazdana crvenkastosmeđim i narandžastim pukotinama. U poređenju sa drugim vrstama hrasta, kao što su kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) i lužnjak (*Quercus robur* L.), drvo cera je niskog kvaliteta i pogodno samo za grubu obradu ili za ogrev. Listovi su sa lica tamnozelene boje, dok su sa naličja sivkasti, različitih veličina i oblika, ali obično od 9 do 12 cm dugački i 3 do 5 cm široki, sa 7 do 9 pari trouglastih režnjeva (slika 2). Listovi dobijaju zlatno-žutu boju u kasnu jesen i opadaju, ili se zadržavaju na krošnji do sledećeg proleća, posebno na mladim stablima (de Rigo et al., 2016). Kod cera se, u pogledu dubine ureza na listovima, razlikuju dva varijeteta – var. *haliphloeos* Lam. et DC i var. *austriaca* (Willd.) Loud. Varijetet *haliphloeos* ima perasto deljene listove, usečene i do samog glavnog nerva, što predstavlja rezultat prilagođavanja na veću kserotermizaciju klime, što se uočava na osnovu smanjene transpiracione površine listova. U poređenju sa varijetetom *austriaca*, varijetet *haliphloeos* bolje podnosi sušu i zastupljen je na kserotermnijim staništima. Varijetet *austriaca* ima listove sa plitko zarezanim režnjevima ili samo nazubljene listove. Javlja se u severnim i zapadnim delovima Balkanskog poluostrva i slabije je prilagođen kserotermnim uslovima staništa. Ponekad je teško razlikovati dva pomenuta varijeteta, jer postoje slučajevi da se na istoj individui javljaju listovi različitog oblika – tip *austriaca* i tip *haliphloeos* (Topić, 2015). Grančice cera su dugačke i pokrivene dlačicama, sive ili maslinasto zelene, sa lenticelama. Pupoljci, koji su koncentrisani na vrhovima grančica, dlakavi su i jajastog oblika, obično okruženi dugačkim resama. Cvetovi su jednodomi i oprašuju se vetrom, a pojavljuju se od aprila do maja. Plod je žir bez peteljke (slika 2), od 2 do 3,5
(5) cm dugačak i oko 2 cm širok. Kupula žira pokrivena je čekinjama. Žir cera sazreva druge godine, ali klija i razmnožava se veoma lako (de Rigo et al., 2016).

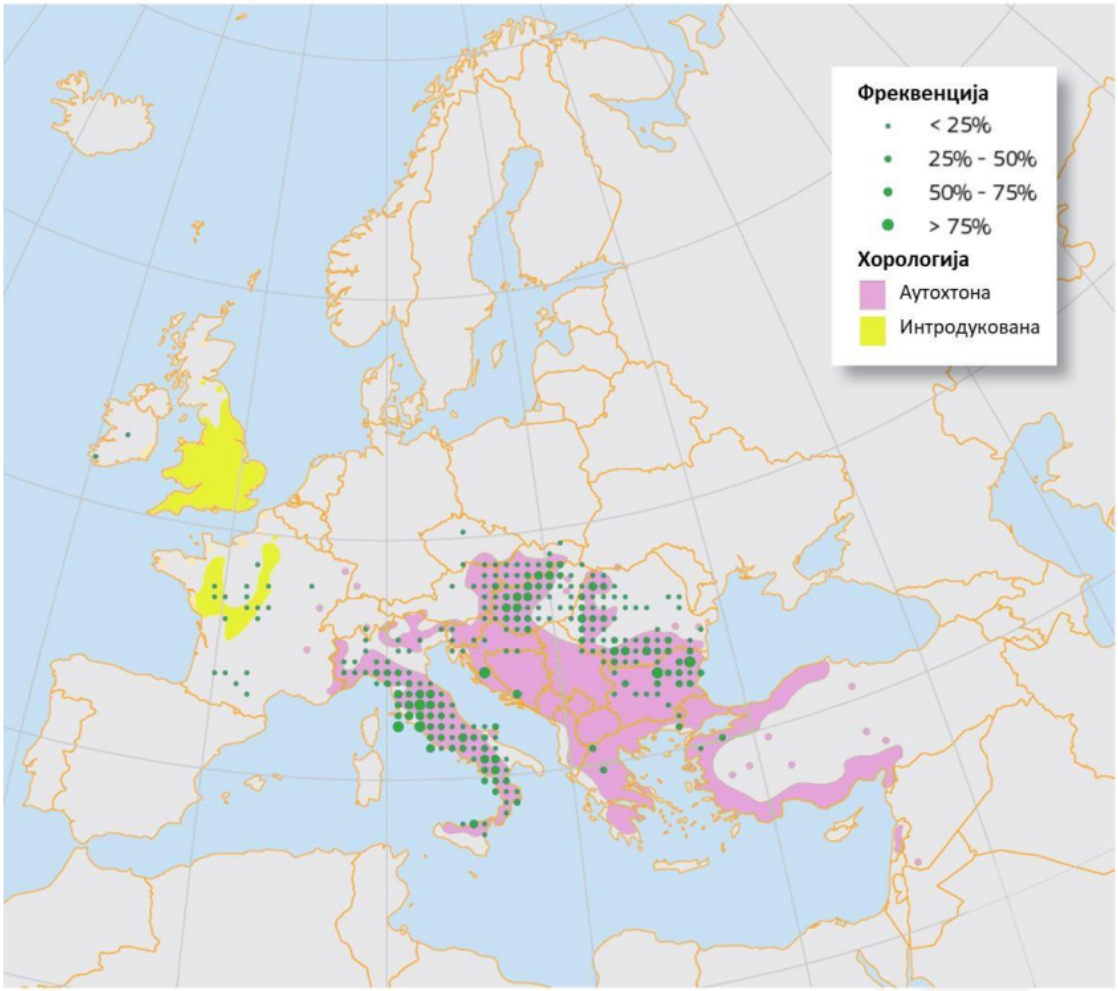


Slika 2. List i plod cera

Oblast rasprostranjenosti ove vrste proteže se od južne Evrope do Male Azije (slika 3). Duž svoje oblasti rasprostranjenosti, naročito je prisutan na Balkanskom i Apeninskom poluostrvu. Zapadna granica prirodnog areala je Francuska, a severna Nemačka, nastavljajući se istočno ka Češkoj, Slovačkoj i Mađarskoj. To je jedan od dvanaest autohtonih vrsta hrastova i u Albaniji. U Bugarskoj naseljava suvlja staništa u ravničarskim i brdskim predelima, gde formira šume sa drugim vrstama hrasta (*Quercus frainetto* Ten., *Q. pubescens* Willd.) i drugim lišćarima kao što su klen (*Acer campestre* L.), poljski brest (*Ulmus minor* Mill.), grab (*Carpinus orientalis* Mill.) i crni jasen (*Fraxinus ornus* L.). Značajan je i u Mađarskoj, gde formira preko 11% površina pod šumom. U Italiji raste od nivoa mora do Apenina i pokriva oko 280.000 ha, često u zajednici sa sladunom (*Quercus frainetto* Ten.). Takođe je široko rasprostranjen u Sloveniji, najčešće u submediteranskim oblastima kao što su Kras, Brkini i Tolmin, ali uvek na toplim i suvim strmim padinama u kontinentalnim delovima zemlje. Zbog klimatskih promena, očekuje se da će globalno ova vrsta proširiti svoj areal ka severu. Cer je introdukovan u veći broj oblasti, kao što su Ujedinjeno Kraljevstvo, Francuska, Severna Amerika, Ukrajina, Argentina i Novi Zeland (de Rigo et al., 2016).

U Srbiji, cer naseljava kserotermne i mezotermne šume, najčešće u zajednici sa sladunom (*Quercus frainetto* Ten.), a javlja se i u izdanačkim šumama istočne Srbije (Kostić, 2013). Šume cera, jedne od najprisutnijih u Srbiji, zauzimaju 345.200 ha, uglavnom su izdanačkog porekla. Stanje šuma cera se ocenjuje kao dobro, sa očuvanim

šumama koje pokrivaju 74,4% površine, retkim koje pokrivaju 23,8% i devastiranim koje pokrivaju 1,8%. U izdanačkim šumama gustina sastojina je izraženija (1.007) u poređenju sa visokim šumama (765 stabala po ha). U visokim šumama, prosečna zapremina iznosi 264 $m^3 \cdot ha^{-1}$, a u izdanačkim 136 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Visina tekućeg zapreminskog prirasta u visokim šumama iznosi 5,2 $m^3 \cdot ha^{-1}$, a u izdanačkim je 3,3 $m^3 \cdot ha^{-1}$. U šumama cera zastupljenije su čiste sastojine (53,7% površine) u odnosu na mešovite (46,3%) (Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008).



Slika 3. Oblast rasprostranjenosti i pojednostavljena horološka mapa cera (modifikovana prema de Rigo et al., 2016)

Cer se dobro prilagođava različitim uslovima staništa. Relativno je tolerantan na sušu (više od drugih vrsta hrastova iste oblasti rasprostranjenosti) i zagađenje vazduha, može rasti na različitim tipovima zemljišta, uključujući slabo kisela zemljišta, pseudoglej, plitka krečnjačka zemljišta, sve dok nisu suviše suva. Razvija snažan koren sa dubokim bočnim ograncima koji obezbeđuje stabilnost pri naletima

vetra. Zahteva dobru osvetljenost, ali može rasti i u senci u svetlim šumama. Poseduje mnoge pionirske karakteristike, kao što je dobra klijavost semena i brz rani rast (de Rigo et al., 2016).

Drvo cera ima relativno slabu upotrebu zbog tendencije pucanja i niskog tehnološkog kvaliteta. Često se koristi kao ogrev, jer ima istu kalorijsku vrednost kao grab i bukva. U ranijem periodu, drvo cera bilo je korišćeno za izradu železničkih pragova, a još uvek se koristi za proizvodnju građe u istočnom delu svoje oblasti rasprostranjenosti. Ekološki značaj cera ogleda se u konzervaciji zemljišta, kontroli erozije i pošumljavanju goleti, zbog svoje sposobnosti brzog rasta na različitim tipovima zemljišta. Ova vrsta se često sadi u urbanim područjima kao ukrasno drvo. Žir i mladi izdanci predstavljaju važan izvor hrane za životinje u mediteranskim oblastima. Koristi se u tradicionalnoj mediteranskoj medicini kao antiinfektivno sredstvo (de Rigo et al., 2016).

Gljivična oboljenja izazvana vrstama *Discula quercina*, *Hipparion mediterraneum* i *Biscogniauxia mediterranea* mogu izazvati potencijalno teške infekcije kod cera, a *Hypoxylon mediterraneum* može doprineti smanjenju brojnosti u sušnim oblastima. Gubar (*Lymantria dispar*) je jedan od najznačajnijih insekata koji ugrožava cer, jer napada list tokom leta. Cer je, takođe, jedan od domaćina ose šišaruše (*Andricus quercuscalicis*), koja pored cera u svom životnom ciklusu inficira i lužnjak (*Quercus robur* L.). Biljna vaš *Phylloxera quercus* ugrožava cer u mnogim evropskim zemljama. Cer je, takođe, podložan infekcijama biljnim patogenom iz roda *Phytophthora* (*P. cinnamomi*, *P. ramorum*), koji napada korenov sistem, a umereno je podložan i infekcijama vrstom *Cryphonectria parasitica*. U urbanim sredinama, cer može biti ugrožen od strane hrastovog četnika (*Traumatocampa processionea*). Takođe, brojne vrste tvrdokrilaca mogu ugroziti cer stvaranjem galerija u stablu (de Rigo et al., 2016).

Prema kriterijumima Međunarodne unije za zaštitu prirode, cer je svrstan u kategoriju „poslednja briga" (*Least Concern*, LC) (Oldfield & Eastwood, 2007; Carrero et al., 2020).

1.2.2. Sladun (*Quercus frainetto* Ten.)

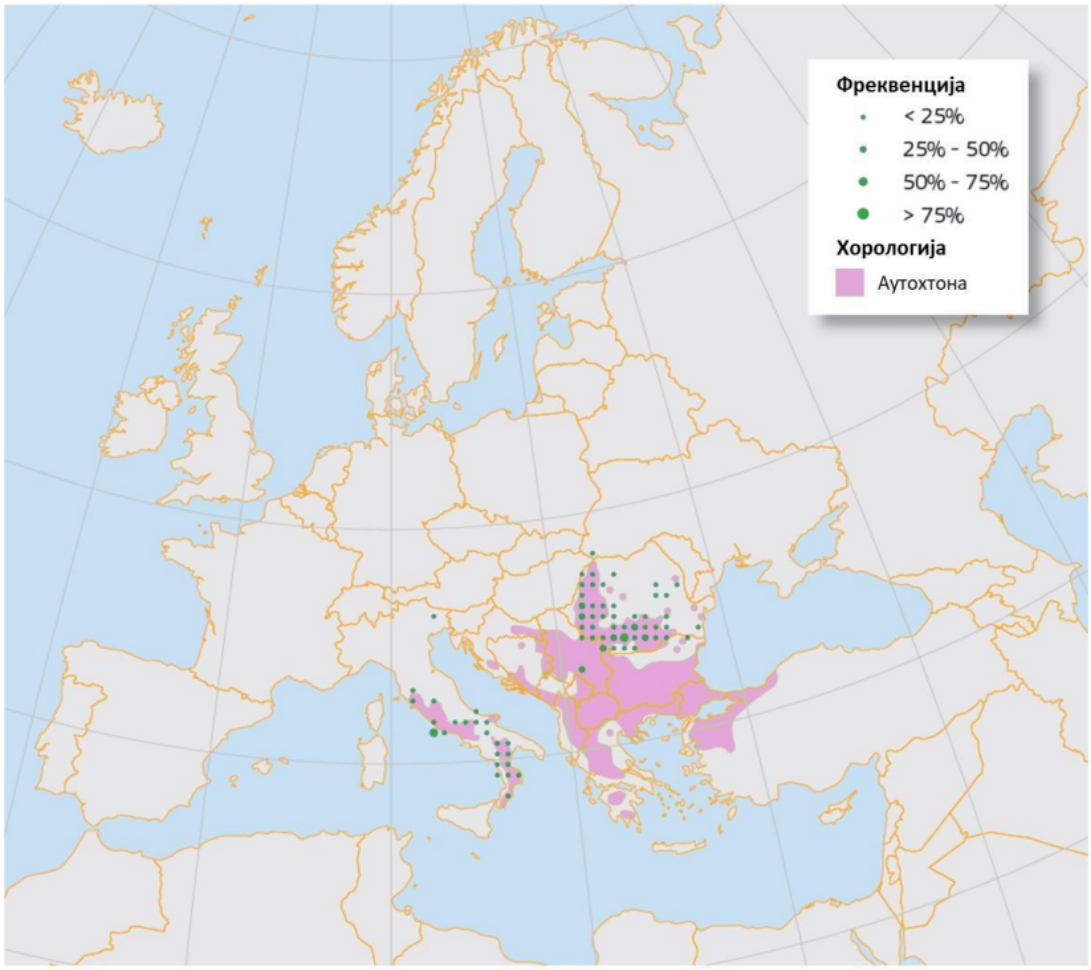
Sladun je krupno listopadno drvo koje može dostići visinu veću od 30 m i starost od oko 200 godina. Stablo je vitko, slično kitnjaku (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Grančice ovog hrasta pokrivene su dlačicama. Listovi su krupni i specifični – do 25 cm dugački, najširi u blizini vršnog dela, sa velikim brojem dubokih režnjeva (najviše od svih vrsta hrastova). Osnova lista je obično aurikularna (nalik uhu), i u nekim slučajevima pokriva lisnu dršku. Sa naličja, listovi su pokriveni gustim dlačicama. Izdanci su krupni, braon boje i dlakavi. Cvetovi su jednodomi (pojedinačni cvetovi su ili muškog ili ženskog pola, ali oba tipa cveta se mogu naći na istoj individui) i oprašuju se vetrom. Žir je do 25 mm dugačak i jajolikog oblika (slika 4). Kupula žira je sedeća i pokrivena dugačkim preklapajućim ljuspama i dlakama (Mauri et al., 2016).



Slika 4. List i plod sladuna

Paleoekološki podaci ukazuju da je sladun bio prisutan na Peloponezu pre oko 6000 godina. Smatra se vrstom koja autohtono naseljava jugoistočnu Evropu kao element submediteranske flore, sa najširom rasprostranjenošću duž Balkanskog poluostrva. Prisutan je i u severozapadnoj Turskoj i južnoj Italiji, u formi raštrkanih populacija duž preapeninskih grebena (slika 5). Iako se na engleskom jeziku naziva „mađarski hrast" (engl. *Hungarian oak*), njegovo prisustvo u Mađarskoj je sporadično i uglavnom rezultat introdukcija. Ovaj hrast je često povezan sa mešovitim grupama (kao i hibridima) drugih vrsta hrastova duž svoje oblasti rasprostranjenosti. Kao i druge vrste hrastova, doživeo je period opadanja brojnosti zbog promene klime i ljudskog uticaja, ali se zbog očekivanog otopljavanja smatra da će se njegova oblast rasprostranjenosti proširiti na Španiju, Francusku i severnu Italiju (Mauri et al., 2016).

U Srbiji, sladun ulazi u sastav klimatogene zajednice hrastovog pojasa, odnosno šuma sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949), koje pokrivaju veliki deo površine Srbije, a posebno su zastupljene u Šumadiji (Kostić, 2013). Srbija se nalazi u blizini severozapadne granice prirodne oblasti rasprostranjenosti sladuna (Popović et al., 2021). Šume sladuna zauzimaju površinu od 159.600 ha. Dominantne su izdanačke šume koje pokrivaju 88,7% površine, dok visoke šume zauzimaju 11,3%. Gustina sastojina izdanačkog porekla iznosi 1.160 stabala po ha, a u šumama visokog porekla je 769 stabala po ha. Prosečna zapremina u izdanačkim šumama je 124 $m^3 \cdot ha^{-1}$, dok je u šumama visokog porekla 192 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Zapreminski prirast u visokim šumama je 4,2 $m^3 \cdot ha^{-1}$, a u izdanačkim 3,2 $m^3 \cdot ha^{-1}$. U šumama sladuna izraženije je prisustvo mešovitih sastojina (53,6%) u odnosu na čiste (46,4%). Očuvane sastojine pokrivaju 84,0% površine, razređene 14,8% površine, a devastirane šume 1,2% površine (Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008).



Slika 5. Oblast rasprostranjenosti i pojednostavljena horološka mapa sladuna(modifikovana prema Mauri et al., 2016)

Sladun je mezokserofilna vrsta, što znači da naseljava staništa na prelazu tipične mediteranske i kontinentalne klime, sa toplim letima i hladnim zimama. Zahteva dosta svetlosti i ne toleriše zasenčenost. Ekološki značaj sladuna ogleda se u tome što raste na kiselim zemljištima i podnosi visoku saturaciju zemljišta vodom, iako ima užu ekološku amplitudu u poređenju sa cerom u većini aspekata. Sladun može formirati čiste sastojine, ali češće se javlja zajedno sa crnim grabom (*Ostrya carpinifolia* Scop.), belim grabom (*Carpinus orientalis* Mill.), crnim jasenom (*Fraxinus ornus* L.) i cerom (*Quercus cerris* L.). Takođe, tolerantniji je na sušu u poređenju sa cerom, ali manje tolerantan u poređenju sa više mediteranskim vrstama hrasta, kao što je crnika (*Quercus ilex* L.) (Mauri et al., 2016).

U Grčkoj, sladun predstavlja važno drvo za građu, zbog čega se često sadi, kao i za potrebe proizvodnje ogreva. U drugim zemljama, najčešće se koristi kao drvo za ogrev, iako je njegov kvalitet sličan kvalitetu kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Zbog prilično visoke trajnosti drveta, sladun se koristio kao građevinski materijal u

građevinarstvu i rudarstvu, dok je retko korišćen za proizvodnju buradi i nameštaja (Mauri et al., 2016).

Kao i druge vrste hrasta širom Evrope, sladun je pretrpeo periode opadanja brojnosti pod uticajem brojnih biotičkih i abiotičkih faktora. Ugrožava ga gubar (*Lymantria dispar*) i brojni patogeni iz roda *Phytophthora* (*P. cinnamomi*, *P. ramorum*) koji napadaju korenov sistem. Brojni tvrdokrilci, lisne vaši (*Thelaxes suberi*), ose i gljive (*Apiognomonia quercina*), takođe mogu izazvati štete. Sladun je umereno podložan i infekcijama vrstom *Cryphonectria parasitica*. Promene u padavinskom režimu i učestalost patogena izazvana stresom, kao što je *Hypoxylon mediterraneum*, smatraju se razlogom opadanja brojnosti sladuna u centralnoj i južnoj Italiji. U mnogim delovima svoje oblasti rasprostranjenosti, brojnost sladuna je redukovana pod uticajem antropogenog pritiska i pretvaranja zemljišta u obradive površine (Mauri et al., 2016).

Prema kriterijumima Međunarodne unije za zaštitu prirode, sladun je svrstan u kategoriju „poslednja briga" (*Least Concern*, LC) (Oldfield & Eastwood, 2007; Carrero et al., 2020).

1.2.3. Kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)

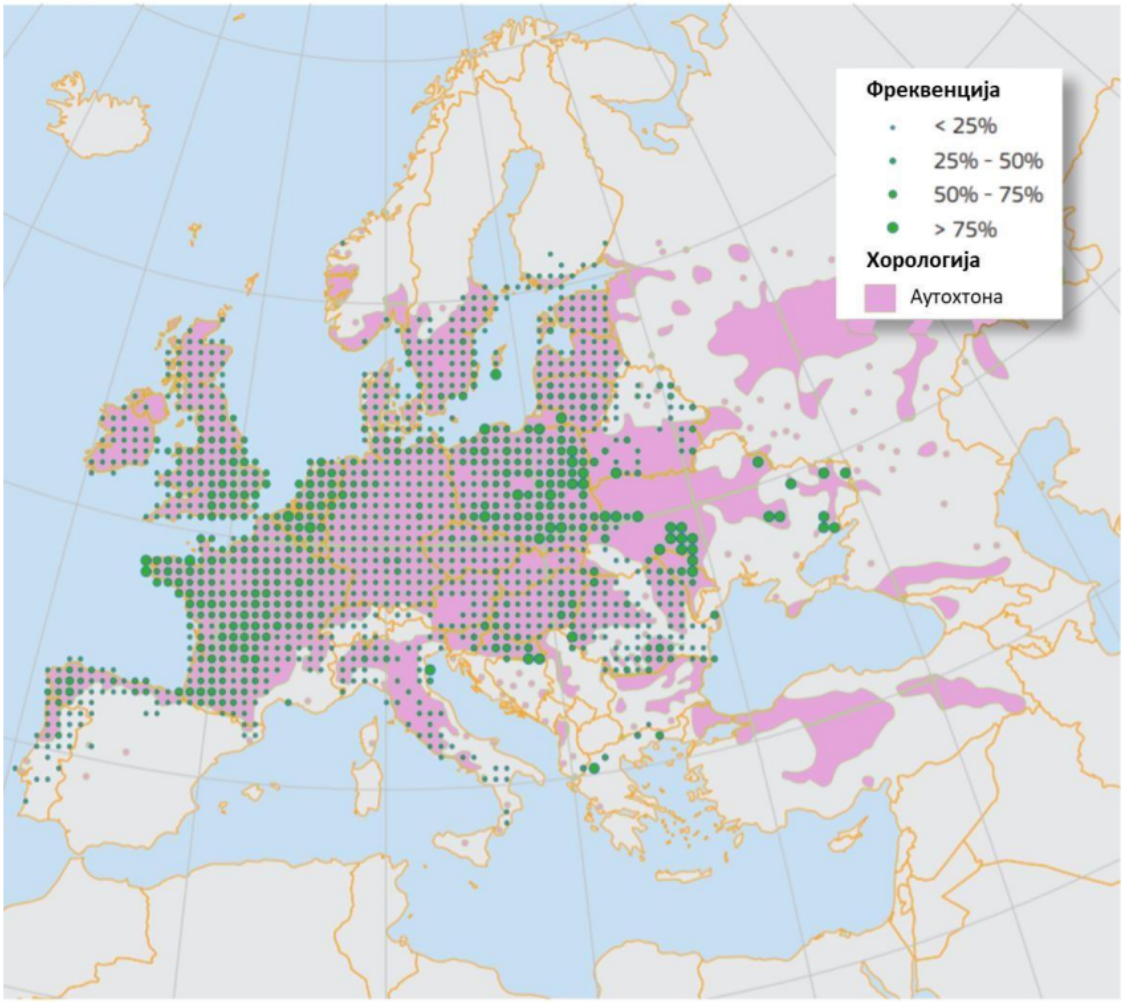
Kitnjak je krupno, listopadno drvo, koje autohtono naseljava većinu Evrope. Može živeti jako dugo, biti veoma krupan (preko 40 m visine), sa prečnikom stabla i do 4 m. Najčešće, ova vrsta dostiže visinu do 30 m i prečnik stabla do 1 m. Kitnjak je često teško razlikovati od lužnjaka (*Quercus robur* L.), zbog čega veliki broj istraživanja upravo posvećen načinima razlikovanja ove dve vrste (npr. Bacilieri et al., 1994; Aas, 1993; Gömöry et al., 2001; Gugerli et al., 2007). Glavno stablo lužnjaka „nestaje" u krošnji, razvijajući nepravilne grane sa izuvijanim ograncima. Kora je siva, ispucala i formira pravougaone izdužene blokove. Listovi su jednostavni, jajolikog oblika, sa uskom bazom i širokim vršnim delom, izduženi i duboko nepravilno režnjeviti sa dužom drškom (13 do 25 mm) (slika 6) (Eaton et al., 2016). Kod kitnjaka, listovi u svojoj osnovi ne poseduju aurikule (Sterry, 2007). Kitnjak je jednodoma vrsta i oprašuje se vetrom, sa visećim muškim cvetovima u obliku žutih resa dugačkim oko 5 cm, i neupadljivim globularnim ženskim cvetovima dugačkim oko 1 cm na terminalnim izdancima, koji se pojavljuju odmah nakon izbijanja prvih listova. Plod je žir sa kupulom, često se javlja u parovima. Drška na žiru je kod kitnjaka odsutna (odatle potiče engleski naziv „*sessile oak*", što znači „sesilni", odnosno „sedeći", bez drške) (slika 6). Sisari i ptice su važni za disperziju semena ove vrste, posebno kreja (*Garrulus glandarius* L.), za koju se smatra da je glavni raznosilac semena (Eaton et al., 2016).



Slika 6. List i plod kitnjaka

Kitnjak se javlja u većem delu Evrope, dosežući severno do južne Norveške i Švedske, i južno do severnih delova Pirinejskog poluostrva, južne Italije, Balkanskog poluostrva i Turske (slika 7). Javlja se na većim nadmorskim visinama u južnim regionima – zabeležen je u planinskim oblastima južne Turske na nadmorskoj visini od oko 2000 m. Zbog jakog antropogenog uticaja, strukturu i rasprostranjenost prirodnih šuma ove vrste teško je ustanoviti (Eaton et al., 2016).

Hrast kitnjak takođe ima široku rasprostranjenost u Srbiji – od Fruške gore i Vršačkih planina na severu, do Kozjaka, Kozarnika i Metohije na jugu, i od Tare na zapadu do Stare planine na istoku. Naseljava nizije, brdska i niža planinska područja. Rasprostranjen je od 200 m nadmorske visine na severnoj granici oblasti rasprostranjenosti u Srbiji, do 1200 m na južnoj i istočnoj granici (Stojanović et al., 2007). U Srbiji su šume kitnjaka smeštene iznad klimatogene šume sladuna i cera – u gornjem delu brdskog pojasa i nižem planinskom pojasu (Popović et al., 2020). U Srbiji, kitnjak zauzima površinu od 173.200 ha. Šume ove vrste su uglavnom izdanačkog porekla i pokrivaju 74,1%, dok visoke sastojine zauzimaju 25,9% površine. Gustina je izraženija u izdanačkim šumama (1.047 stabala po ha), u poređenju sa visokim šumama (646 stabala po ha). Sastojine visokog porekla imaju zapreminu od 183 $m^3 \cdot ha^{-1}$ i tekući zapreminski prirast od 4,0 $m^3 \cdot ha^{-1}$, dok u izdanačkim šumama zapremina iznosi 104 $m^3 \cdot ha^{-1}$, a tekući zapreminski prirast 2,8 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Očuvane sastojine kitnjaka pokrivaju 73,7%, razređene 23,3%, a devastirane 3,0% površine. Čiste sastojine kitnjaka pokrivaju 57,5%, a mešovite sastojine 42,5% od ukupne površine kitnjakovih šuma u Srbiji (Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008).



Slika 7. Oblast rasprostranjenosti i pojednostavljena horološka mapa kitnjaka(modifikovana prema Eaton et al., 2016)

Kitnjak je drvenasta vrsta sa širokom ekološkom amplitudom, iako preferira plodna i vlažna zemljišta. Dominira u veličini i broju na nižim i srednjim nadmorskim visinama. Ova vrsta može imati osobine pionirskih vrsta, njeni žirovi poseduju velike rezerve hranljivih materija i sposobni su da prežive u gustim travama dok ne razviju dovoljno dubok koren. Pošto kitnjak olistava relativno kasno (kraj aprila i početak maja), kasni mrazevi retko predstavljaju problem, osim ako temperature dostignu ispod -3°C. Temperature ispod -6°C uništavaju žir. Duboki korenovi daju kitnjaku strukturnu stabilnost i omogućavaju da preživi sušne periode godine. Kitnjak je tolerantan na sušu, zbog čega preferira oblasti sa uticajem atlantske klime, gde raste na lakšim, dobro dreniranim, često kamenitim zemljištima (odakle i potiče latinski naziv *petraea* – kamenita mesta), pa se često javlja na padinama i vrhovima brda na kiselom zemljištu. Ova vrsta zahteva dosta svetlosti. U prirodnim uslovima, kitnjak retko formira čiste sastojine, a njegov glavni kompetitor je bukva (*Fagus sylvatica* L.).

Kitnjak dominira na vlažnim zemljištima bogatim hranljivim materijama, gde se javlja zajedno sa grabom (*Carpinus betulus* L.), i drugim lišćarima kao što su jasen (*Fraxinus excelsior* L., *F. angustifolia* Vahl), klen i javor (*Acer campestre* L., *A. platanoides* L.) i sitnolisna lipa (*Tilia cordata* Mill.). U šumama u kojima dominiraju zajednice hrasta i graba, bukva je van svoje oblasti rasprostranjenosti, ili izostaje jer su zemljišta relativno suva i topla, ili previše vlažna. U toplijim i suvljim oblastima submediteranskog regiona, kitnjak se može mešati sa meduncem (*Quercus pubescens* Willd.), formirajući red *Quercetalia pubescenti-petraeae*. Na siromašnim i kiselim zemljištima, gde se bukva ne može regenerisati, formiraju se mešovite šume koje obuhvataju klasu *Quercetea robori-petraea*, relativno malu i raštrkanu u okviru rasprostranjenja bukve. Kitnjak je prisutan i u drugim tipovima šuma kao sekundarna vrsta, posebno u bukovim šumama na nižim nadmorskim visinama, gde su zemljište i klimatski uslovi još uvek pogodni za hrastove (Eaton et al., 2016).

Još od najranijih vremena, kitnjak je predstavljao važan izvor ogreva, hrane za životinje i materijala za gradnju. Zajedno sa lužnjakom, kitnjak je među ekonomski najvažnijim listopadnim šumskim drvećem u Evropi, jer obezbeđuje visokokvalitetno tvrdo drvo za građu i proizvodnju nameštaja. Kitnjak je cenjen zbog svoje tvrdoće i izdržljivosti, jer ga visok sadržaj tanina čini otpornim na napade gljivica i insekata. Tradicionalno je korišćen u izgradnji drvenih okvira zgrada i ograda, a u prošlosti je bio i glavni element u gradnji jedrenjaka. Takođe, nameštaj, podne ploče, lamperija i stolarija glavni su produkti drveta ove vrste. Pošto je drvo kitnjaka otporno na uticaj tečnosti, koristi se za proizvodnju buradi za vino i žestoka pića. Najvrednije hrastovo drvo ima uske prstenove i proizvedeno je u mešovitim šumama na plodnim zemljištima. Uspešan uzgoj ovog hrasta zahteva posebnu pažnju, odabir odgovarajuće mešavine vrsta listopadnog drveća, proporciju i gustinu, koji snažno utiču na kvalitet drveta u pogledu prečnika stabla, širine prstenova i prisustva čvorova formiranih od strane bočnih izdanaka. Nekoliko sorti kitnjaka koristi se kao ukrasno drveće, kao što je *Quercus petraea* 'Laciniata', sa dugačkim, uskim i duboko urezanim listovima. Ekološka uloga kitnjaka je velika, jer predstavlja stanište brojnih insekata, dok njegov plod (žir) služi kao izvor hrane za mnoge ptice i sisare (Eaton et al., 2016).

Brojni insekti mogu uništiti prve listove u toku godine (*Tortrix viridana*, *Lymantria dispar*, *Operophtera brumata*). Kao rezultat posebno izraženih infestacija, pogotovo u kombinaciji sa gljivom *Erysiphe alphitoides*, produktivnost kitnjaka može biti ozbiljno ograničena, jer gljivica pokriva površinu listova, sprečavajući svetlost da dopre do njih. Poslednjih godina, hrastov četnik (*Thaumetopoea processionea*) je proširio svoj areal iz južne Evrope ka severu, a gusenica ove vrste se hrani listovima kitnjaka i odbacuje mikrodlake koje mogu nadražiti respiratorni sistem, oči i kožu čoveka, zbog čega je jako štetan i za hrastove i za čoveka. Takođe, osa šišaruša (*Andricus quercuscalicis*) može naneti štete žiru. Mlada stabla, takođe, mogu biti ugrožena zbog skidanja kore od strane veverica. Kitnjak je veoma osetljiv na gubara (*Lymantria dispar*) i umereno podložan dejstvu *Cryphonectria parasitica*. Ova vrsta hrasta je pod uticajem gljivičnog parazita korenovog sistema iz roda *Phytophthora* (*P. cinnamomi*, *P. ramorum*, *P. quercina*) (Eaton et al., 2016). Poslednjih decenija, sastojine, grupe i individue kitnjaka se suše u gotovo čitavoj oblasti rasprostranjenosti, najverovatnije zbog uticaja globalnih klimatskih promena, promena populacione strukture, aerozagađenja, biljnih patogena i drugih faktora (Popović et al., 2020).

Prema kriterijumima Međunarodne unije za zaštitu prirode, kitnjak je svrstan u kategoriju „poslednja briga" (*Least Concern*, LC) (Oldfield & Eastwood, 2007; Carrero et al., 2020).

1.2.4. Medunac (*Quercus pubescens* Willd.)

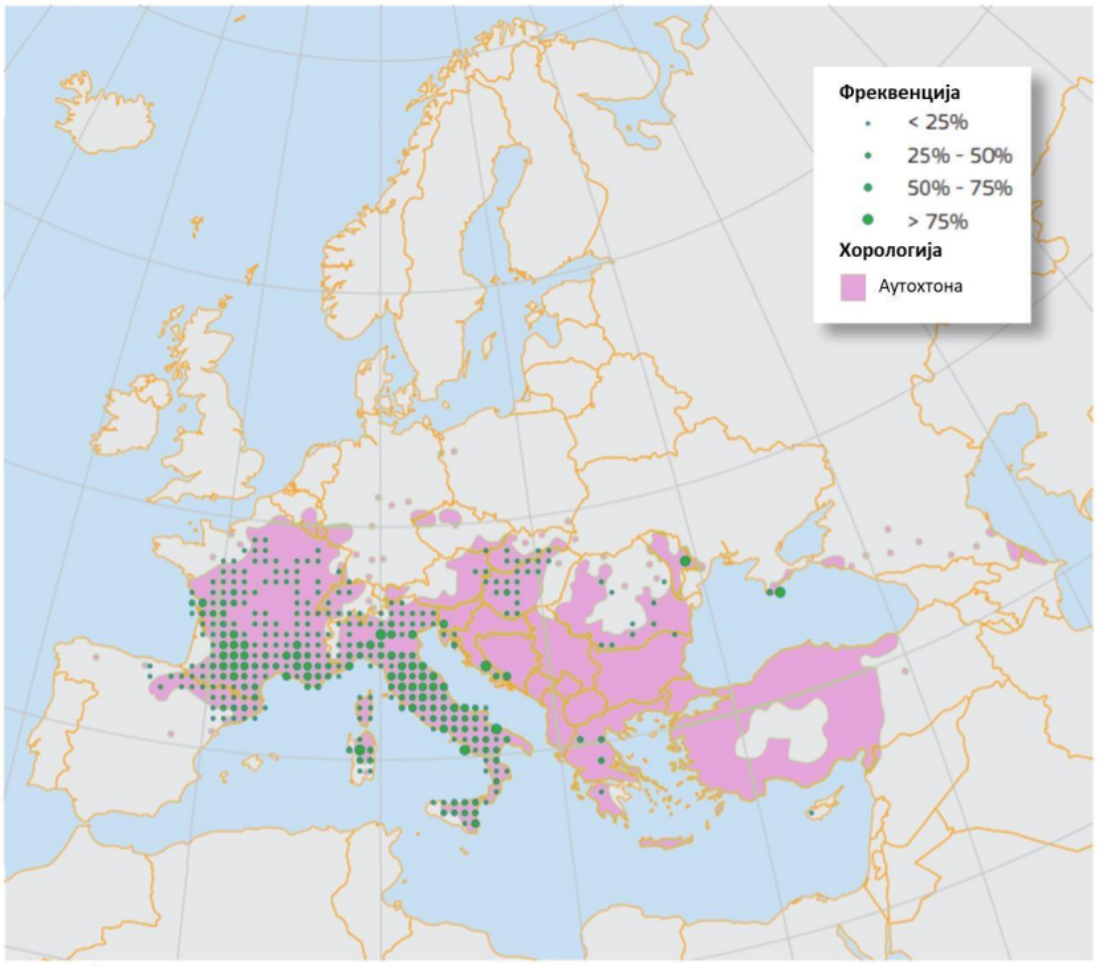
Medunac je drvo srednje veličine (15 do 20 m, retko 25 m visine). Njegovi naizmenični listovi su uglavnom jajasto izduženi, dužine 5 do 10 cm, sa kratkom lisnom drškom (5 do 20 mm) i sa 5 do 6 manje ili više dubokih režnjeva (slika 8). Listovi su gusto dlakavi, zeleno-sive boje na početku razvoja. Ubrzo nakon što sve dlake sa lica lista opadnu, listovi postaju kožasti i tamnozeleni (Pasta et al., 2016). Iako slični listovima lužnjaka (*Quercus robur* L.), listovi medunca su manji, sa plićim i zašiljenijim režnjevima i dlakavom lisnom drškom (Sterry, 2007). Muški cvetovi imaju 6 do 10 prašnika, grupisani su u rese koje rastu zajedno sa mladim listovima u osnovi izdanaka. Kratki ženski cvetovi na peteljkama se razvijaju u pazuhu distalnih listova. Plodovi su često u grupama od tri do četiri žira, imaju kratku i dlakavu dršku, uglavnom su eliptični (2 do 3,5 cm dugački) i pokriveni od ¼ do ½ svoje ukupne dužine kupulama, koje su pokrivene trouglastim dlakavim ljuspama (slika 8). Sezona cvetanja (od marta do maja) varira sa nadmorskom visinom. Krupni žirovi sazrevaju od septembra do novembra, odmah klijaju i za kratko vreme razvijaju snažan koren. Kora medunca je duboko izbrazdana i hrapava (Pasta et al., 2016).



Slika 8. List i plod medunca

Koncept vrste je veoma teško primeniti kod hrasta medunca, prvenstveno zbog česte hibridizacije sa drugim vrstama hrasta poput španskog hrasta (*Quercus pyrenaica* Willd.), portugalskog hrasta (*Q. faginea* Lam.), kitnjaka (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) i sladuna (*Q. frainetto* Ten.), zbog složene istorije preživljavanja i migracije ove vrste tokom pleistocenske glacijacije, kao i zbog fragmentacije i izolacije populacija usled krčenja šuma. Ovi suprotstavljeni procesi (hibridizacija u odnosu na inbriding i genetički drift zbog fragmentacije staništa) objašnjavaju visoku morfološku varijabilnost medunca. Stoga, mnogi eko-morfotipovi koji naseljavaju južnoevropska poluostrva i/ili glavna mediteranska ostrva smatraju se endemitima, kao što je *Quercus virgiliana* Mill. (uključujući *Q. amplifolia* Willd.) na balkansko-pontskom području, *Quercus brachyphylla* Kotschy u južnoj Grčkoj, Kritu i jugozapadnoj Anatoliji, *Quercus pubescens* subsp. *crispata* (syn. subsp. *anatolica*) u centralnoj i zapadnoj Anatoliji i u nekoliko izolovanih populacija u kavkaskoj oblasti (Dagestan, Gruzija, Azerbejdžan), *Quercus congesta* C. Presl (uključujući *Q. leptobalanos* Guss.) na Sardiniji, Siciliji i u južnoj Italiji, kao i *Quercus ichnusae* Mossa, Bacch. & Brullo na Sardiniji. Samo detaljne statističke metode primenjene na morfološkim osobinama omogućavaju razlikovanje nekih od pomenutih taksona, dok genetičke analize još uvek ne ističu jasne razlike među njima, zbog čega su sve pomenute vrste i podvrste svrstane u jednu vrstu. Na ovaj način, *Quercus pubescens sensu lato* zauzima široku oblast u gotovo celoj srednjoj i južnoj Evropi, od zapadne Španije do Balkana, Crnog mora i Kavkaza (slika 9). Imajući u vidu široku ekološku nišu medunca, moguće je da su šume ove vrste pokrivale veoma široke površine duž Evrope, pre nego što su uništene radi stvaranja obradivih površina, vinograda i maslinjaka (Pasta et al., 2016).

U Srbiji je medunac rasprostranjen u toplijim južnim krajevima i na južnim padinama (Kostić, 2013). Šume medunca su zastupljene u fragmentima na relativno maloj površini od 10.400,00 ha. Sve šume medunca su izdanačkog porekla. Odlikuju se relativno velikom gustinom koja iznosi 1.207 stabala po ha. Prosečna vrednost osnovnih taksacionih pokazatelja je niska i prosečna zapremina iznosi 87 $m^3 \cdot ha^{-1}$, a zapreminski prirast 2,6 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Stanje šuma medunca po očuvanosti je osrednje – očuvane sastojine obuhvataju 76,9%, razređene 19,3%, dok devastirane sastojine obuhvataju 3,8%. Zapremina u očuvanim sastojinama iznosi 102 $m^3 \cdot ha^{-1}$, 43,4 $m^3 \cdot ha^{-1}$ u razređenim, a u devastiranim 5,9 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Veličina tekućeg zapreminskog prirasta u očuvanim sastojinama iznosi 3,2 $m^3 \cdot ha^{-1}$, u retkim 1,0 $m^3 \cdot ha^{-1}$, a u devastiranim sastojinama 0,2 $m^3 \cdot ha^{-1}$. U pogledu mešovitosti, u 50% učestvuje u formiranju čistih sastojina lišćara, 42,3% u mešovitim sastojinama lišćara i 7,7% u mešovitim sastojinama lišćara i četinara (Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008). Na teritoriji Republike Srbije, medunac je svrstan u kategoriju retke ugrožene vrste, ukazujući da postoji izuzetno visok rizik njegovog nestajanja u skorijoj budućnosti. Šume medunca zbog svoje retkosti zaslužuju epitet zaštićenih, zaštitnog su karaktera na specifičnim staništima koje naseljavaju, zbog čega takav status treba trajno obezbediti pri planiranju njihovog korišćenja (Banković et al., 2008).



Slika 9. Oblast rasprostranjenosti i pojednostavljena horološka mapa medunca(modifikovana prema Pasta et al., 2016)

Medunac pokazuje veoma širok visinski raspon, pre svega u južnim oblastima Evrope. Iako je češći na padinama između 200 i 800 m nadmorske visine, raste od primorskih ravnica do 1200-1300 m. Tolerantan je na različite pH vrednosti zemljišta, ali mu najviše odgovara krečnjačka podloga i dobro drenirano zemljište u severnom delu oblasti rasprostranjenosti, ali može biti čest i na kiselim zemljištima u toplijim oblastima (Sicilija, Krit). Ima osobine heliofilnih i termofilnih vrsta, savršeno prilagođen da podnese umerene letnje suše i niske zimske temperature, iako izbegava kontinentalne oblasti izložene čestim mrazevima i/ili sušama. Pošto se medunac teško obnavlja, pod intenzivnim i čestim antropogenim uticajima (seča, požari, prekomerna ispaša) može biti potisnut od strane otpornijih vrsta. Sa druge strane, može izvršiti i brzu kolonizaciju staništa širenjem semena nakon otklanjanja negativnih uticaja. Šume u kojima dominira medunac su prilično česte u južnoj Evropi, dok su u centralnoj Evropi ograničene na oblasti sa toplim mikroklimatskim uslovima. Istraživanja vegetacije koja se tiču ovih zajednica sprovedena su u Nemačkoj,

Bugarskoj, Češkoj, Italiji, Austriji, Slovačkoj, Mađarskoj, Grčkoj i bivšoj Jugoslaviji (Rousakova & Tzonev, 2003; Knollová & Chytrý, 2004; Blasi et al., 2004; Roleček, 2005; Kevey & Borhidi, 2005; Willner & Grabherr, 2007; Čarni et al., 2009). Medunac se često javlja sa drugim listopadnim drvenastim vrstama jugoistočne Evrope, kao što su beli grab (*Carpinus orientalis* Mill.), koprivić (*Celtis* spp.), crni jasen (*Fraxinus ornus* L.) i crni grab (*Ostrya carpinifolia* Scop.). Istočno-zapadni gradijent u sastavu vrsta je zabeležen na Balkanskom poluostrvu, dok je u Italiji zabeleženo povećanje diverziteta duž severno- južnog gradijenta. Pojedini autori svrstavaju šume medunca u vegetacijske zajednice na nivou reda (*Quercetalia pubescentis*) u okviru klase *Querco-Fagetea* (Rivas-Martinez et al., 2001; Rivas-Martinez et al., 2002), dok ih drugi (Mucina, 1997; Rodwell et al., 2002) smatraju zasebnom klasom (*Quercetea pubescentis*) i daju spisak vrsta koje smeštaju šume medunca u submediteranski kontekst. Na mediteranskim ostrvima, medunac se često javlja sa crnikom (*Quercus ilex* L.) (Korzika, Sardinija i Sicilija) ili sa prnarom (*Quercus coccifera* L.) (Krit). Pošto su donji vegetacijski spratovi u šumama medunca nedovoljno različiti od onih u zimzelenim šumskim zajednicama, većina je uključena u klasu *Quercetalia ilicis*. Sa druge strane, aktuelne aktivnosti praćenja dinamike šuma ukazuju da prestanak ili smanjenje delovanja negativnih faktora može omogućiti meduncu da postane dominantna vrsta šumskih zajednica severnog Mediterana, potiskujući vrstu *Quercus ilex* L., koja je ograničena na plitka, više ugrožena, siromašna zemljišta (Pasta et al., 2016).

Zbog nepravilne distribucije vlakana i iskrivljenosti stabla, drvo medunca se retko koristi kao građa, češće kao ogrev. Danas se može koristiti i za stolariju, izgradnju brodova i ambalaže. Medunac je jedan od najčešćih domaćina ekonomski važnih vrsta tartufa (*Tuber aestivum*, *T. macrosporum*, *T. magnatum*, *T. melanosporum*, *T. uncinatum*). Imajući u vidu povećanje veličine prstenova usled povećanja atmosferskog CO_2 u toku poslednjeg stoleća, smatra se da medunac može biti efikasan u borbi protiv efekta staklene bašte (Pasta et al., 2016).

Nekoliko vrsta gljiva koje pripadaju rodu *Phytophthora* su odgovorne za smanjenje brojnosti medunca, posebno u mediteranskim zemljama koje su pogođene jakim sušama ili promenama distribucije padavina. Medunac je podložan infekcijama od strane *Phytophthora cinnamomi*, *P. ramorum* i pogotovo *P. quercina*. Takođe, ovu vrstu hrasta može ugrožavati i gubar (*Lymantria dispar*) (Pasta et al., 2016).

Prema kriterijumima Međunarodne unije za zaštitu prirode, medunac je svrstan u kategoriju „poslednja briga" (*Least Concern*, LC) (Oldfield & Eastwood, 2007; Carrero et al., 2020).

1.3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA GENETIČKE VARIJABILNOSTI HRASTOVA (*QUERCUS* L.) PRIMENOM ADAPTIVNIH I NEUTRALNIH MARKERA

1.3.1. Adaptivna (morfološka) varijabilnost hrastova

Varijabilnost oblika lista hrasta analizirana je od strane različitih autora korišćenjem metoda geometrijske morfometrije, kako bi napravila razlika između vrsta, njihovih hibrida ili populacija iste vrste (Jansen, 1999; Jansen et al., 1993; Peñaloza-Ramirez et al. 2010; Viscosi & Cardini, 2011; Viscosi, 2015; Liu et al., 2018; Li et al., 2021; Su et al., 2021; Proietti et al., 2021).

Prvi značajniji rad dali su Viscosi & Cardini, (2011), koji su postavili osnove pojednostavljenog protokola za korišćenje geometrijske morfometrije na listu hrasta. Ovi autori, kao i ranije Viscosi et al. (2009a, b), nisu uzimali simetričnu komponentu u obzir, pa su specifične tačke beležili samo na jednoj strani lista. Nešto kasnije, beleženjem specifičnih tačaka na obe strane lista, Viscosi (2015) proučava simetričnu i asimetričnu komponentu lista. Liu et al. (2018) su proučavali oblik lista kod dva simpatrička kineska hrasta (*Quercus dentata* Thunb. i *Q. aliena* Blume) korišćenjem metoda geometrijske morfometrije i utvrdili da je ova metoda klasifikovala individue vrsta u skladu sa ranije zabeleženim molekularnim markerima. Proietti et al. (2021) su istraživali postojanje vrste *Q. dalechampii* Ten. u Italiji i njene potencijalne karakteristike koje bi je odvojile od vrsta *Q. petraea* (Matt.) Liebl. i *Q. pubescens* Willd., ali njihova očekivanja nisu potvrđena rezultatima geometrijske morfometrije. Li et al. (2021) proučavali su genetičke, geografske i klimatske faktore koji utiču na oblik lista *Q. aquifolioides* Rehder & E.H.Wilson u Kini i na Tibetu, i utvrdili da u manjoj ili većoj meri postoji veza između pomenutih faktora i oblika lista. Su et al. (2021) su metodom geometrijske morfometrije istraživali pet vrsta roda *Quercus* L. kod kojih je česta hibridizacija i introgresija (*Q. dentate* Thunb., *Q. aliena* Blume, *Q. serrata* Murray, *Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb., *Q. fabrei* Hance) i utvrdili da se oblik lista u velikoj meri može koristiti za identifikaciju vrsta. Akii et al. (2022) analizirali su četiri simpatrička mediteranska hrasta (*Q. suber* L., *Q. ilex* L., *Q. canariensis* Willd., *Q. afares* Pomel) i njihove hibride u Alžiru i pokazali intermedijaran oblik lista vrste *Q. afares* Pomel u odnosu na *Q. suber* L. i *Q. canarensis* Willd., sa jasnim odvajanjem vrste *Q. ilex* L. Abdeldjalil & Beghami (2022) dali su informacije o variranju veličine i oblika lista kod *Q. faginea* Lam. i *Q. canarenis* Willd., ukazujući na postojanje kseromorfnih oblika prilagođenih aktuelnim klimatskim promenama.

Istraživanja varijabilnosti lista hrastova na teritoriji Srbije korišćenjem metoda geometrijske morfometrije sproveli su Jovanović et al. (2022a-c, 2023a). Jovanović et al. (2022a) proučavali su morfološko variranje veličine i oblika lista kod sladuna (*Q. frainetto* Ten.) koji raste na različitim tipovima zemljišta u Šumadiji i ukazali da nivoi produktivnosti zemljišta utiču na obrasce variranja. Prema ovom istraživanju, individue sladuna koje su rasle na podlozi siromašnoj nutrijentima imale su manje listove sa izraženijom režnjevitošću, u poređenju sa individuama koje su rasle na zemljištu bogatom hranljivim materijama. Jovanović et al. (2022b) proučavali su i morfometrijske karakteristike listova sladuna (*Q. frainetto* Ten.) i cera (*Q. cerris* L.) na teritoriji Šumadije i pokazali da je cer imao više nivoe varijabilnosti u poređenju sa sladunom. Obrasci variranja lista između ove dve vrste su se značajno razlikovali,

sugerišući da različiti faktori utiču na unutarvrsnu varijabilnost. Jovanović et al. (2022c) su demonstrirali primenu metoda geometrijske morfometrije na primeru dve vrste hrasta iz regiona Šumadije – kitnjaka (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) i lužnjaka (*Q. robur* L.) i pokazali značajne razlike između ove dve vrste. Jovanović et al. (2023a) su, takođe, proučavali efekte tipa zemljišta, ekspozicije i nadmorske visine na morfometrijske karakteristike lista cera (*Q. cerris* L.) sa teritorije Šumadije. Ovi autori pokazali su da su individue cera koje su rasle na podlogama siromašnim nutrijentima imale manje listove i visoke vrednosti fluktuirajuće asimetrije u poređenju sa individuama koje su rasle na podlogama bogatim nutrijentima. Takođe, ovo istraživanje pokazalo je da su individue sa viših nadmorskih visina imale manje listove, dok su one sa severnih ekspozicija i nižih nadmorskih visina imale veće listove.

Na osnovu navedenih istraživanja, može se zaključiti da je geometrijska morfometrija primenjena na listu hrasta pouzdana metoda koja često može dati uvid u složene obrasce variranja između populacija, vrsta ili viših taksonomskih kategorija.

1.3.2. Neutralna (molekularna) varijabilnost hrastova

Brojni autori su proučavali genetički diverzitet hrastova korišćenjem molekularnih markera, pri čemu se istraživanja intenziviraju poslednjih godina. Samo u Evropi publikovano je desetine radova koji se tiču genetičkog diverziteta hrastova (npr. Franjić et al., 2006; Curtu et al., 2011; Özer, 2014; Antonecchia et al., 2015; Bagnoli et al., 2016; Di Pietro et al., 2020; Jurkšienė et al., 2020). Istraživanja populacija hrastova u Evropi ticala su se kako međupopulacione diferencijacije, tako i međuvrsne, a posebna pažnja posvećena je hibridima.

Na primer, Samuel et al. (1995) su istraživali alozimsko variranje lokusa kod populacija *Quercus cerris* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. petraea* (Matt.) Liebl. i *Q. robur* L. u istočnoj Austriji i pokazali da se stepen genetičke diferencijacije između ovih vrsta pokazao niskim, odnosno u opsegu uobičajeno opserviranom kod konspecifičnih populacija, sa mogućnošću hibridizacije i introgresije. Nešto kasnije, Gömöry et al. (2001) su proučavali genetičku strukturu 25 populacija vrsta *Q. petraea* (Matt.) Liebl. i *Q. robur* L. iz Slovačke, Bugarske i Rusije korišćenjem izozimskih markera i ukazali na specifične obrasce diferencijacije. Kelleher et al. (2005) su istraživali populacije *Q. petraea* (Matt.) Liebl. i *Q. robur* L. korišćenjem morfoloških i molekularnih AFLP analiza (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) u pokušaju da opišu razlike između vrsta u Irskoj. Rezultati istraživanja ovih autora su pokazali da je neutralno molekularno variranje više podeljeno između populacija nego između vrsta. Belletti et al. (2005) su proučavali alozimsko variranje metodom elektroforeze kod *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Q. robur* L., *Q. cerris* L. i *Q. pubescens* Willd. u oblasti Pijemont u Italiji. Većina genetičke varijabilnosti je detektovana na nivou populacije, a istraživanje je potvrdilo nizak nivo varijabilnosti između istraživanih vrsta.

U novijim studijama, nuklearni mikrosatelitni markeri (nSSRs), korišćeni su u istraživanju hibridizacije (Burgarella et al., 2009; Viscosi et al., 2009b; Ortego & Bonal, 2010; Penaloza-Ramirez et al., 2010) i genetičke strukture populacija (Neophytou et al., 2010). Soto et al. (2003) pokazali su da je transfer seta nuklearnih mikrosatelitnih markera od *Quercus macrocarpa* Michx. i *Q. petraea* (Matt.) Liebl. na *Q. ilex* L. i *Q. suber* L.

koristan za genetička istraživanja ovih vrsta, kao i za identifikovanje hibrida *Q. ilex* L. i *Q. suber* L. Gugerli et al. (2007) su istraživali pojavu prostornih diskontinuiteta korišćenjem nuklearnih mikrosatelita kod *Q. petraea* (Matt.) Liebl. i *Q. robur* L. u mešovitim šumama i utvrdili da su ovo dva odvojena taksona koja dele zajedničkog pretka, ali između kojih dolazi do povremene hibridizacije. Rellstab et al. (2016) su analizirali morfologiju lista u kombinaciji sa nuklearnim mikrosatelitnim markerima za identifikaciju taksonomskog statusa kod tri hibridizujuće vrste hrasta u Evropi (*Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. pubescens* Willd., *Q. robur* L.), i zaključili da dok se *Q. robur* L. jasno odvaja od druga dva taksona, postoji izvesno preklapanje između *Q. petraea* (Matt.) Liebl. i *Q. pubescens* Willd. Franjić et al. (2006) su proučavali morfološku i molekularnu diferencijaciju populacija *Quercus pubescens* Willd. u Hrvatskoj i pokazali diferencijaciju na južnu (mediteransku) i severnu (kontinentalnu) grupu. Pospíšková & Dostálek (2009) su proučavali uticaj gazdovanja šumama na genetički diverzitet kod populacija *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. u zaštićenoj oblasti Krivokaltsko u Češkoj korišćenjem mikrosatelitnih markera i ukazali da su razlike između populacija u prosečnom broju alela po lokusu veoma male. Curtu et al. (2011) su proučavali genetičku diferencijaciju između *Q. frainetto* Ten. i *Q. pubsescens* Willd. u Rumuniji korišćenjem visoko polimorfnih nuklearnih markera. Ovi autori su pokazali da je genetička udaljenost znatno manja između populacija nego između vrsta, kao i da postoje različite stope hibridizacije i introgresije. Özer (2014) je proučavao genetički diverzitet analizom polimorfizma mikrosatelitnih lokusa populacija *Q. cerris* L. uzorkovanih duž prirodne oblasti rasprostranjenosti i pokazao različite nivoe genetičkog diverziteta među populacijama. Antonecchia et al. (2015) su proučavali genetičku strukturu prirodnih zajednica hrasta u centralnoj Italiji (*Q. frainetto* Ten., *Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. pubescens* Willd.) pomoću mikrosatelitnih markera. Značajne razlike i veći nivo protoka gena je uočen između analiziranih vrsta, sa izraženim prisustvom hibrida. Bagnoli et al. (2016) su pokušali da „popune prazninu" u trenutnom razumevanju uloge glacijalnog refugijuma istočnog Mediterana i njihovih veza sa drugim refugijumima duž Evrope, proučavajući distribuciju genetičkog diverziteta i genetičku strukturu savremenih populacija *Quercus cerris* L. u vezi sa kvaternom demografskom istorijom i starijim događajima. Ovi autori su zaključili da je podela populacija u dve grupe – sa Apeninskog i Balkanskog poluostrva, verovatno, izazvana populacionim konstrikcijama tokom glacijalne faze srednjeg pleistocena. Jurkšienė et al. (2020) su proučavali predačko-potomačku genetičku strukturu kod *Q. robur* L. i *Q. petraea* (Matt.) Liebl. i njihovih hibrida u Litvaniji, korišćenjem nuklearnih mikrosatelitnih i RAPD (*Random Amplified Polymorphic DNA*) markera. Ovo istraživanje je pokazalo da je nivo genetičkog variranja i podela bio niži kod hibridnih grupa, dok je genotipska analiza potomaka pokazala asimetričnu prirodu međuvrsne hibridizacije između ove dve vrste u mešovitim sastojinama. Di Pietro et al. (2020) izvršili su preliminarnu karakterizaciju *Quercus pubescens* Willd. kompleksa u južnoj Italiji korišćenjem polimorfnih mikrosatelitnih molekularnih markera, a njihovi rezultati nisu ukazali na mogućnost koegzistencije više od jedne vrste među individuama *Q. pubescens* Willd. u datom regionu.

Istraživanja genetičke varijabilnosti hrastova na teritoriji Srbije vršili su brojni autori. Milovanović (2009) i Šijačić-Nikolić et al. (2009) su, na primer, proučavali ekološko-genetičke osnove hrasta kitnjaka (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) korišćenjem

hloroplasne DNK i pokazali da je hloroplasni genom visoko informativan, detektujući pet haplotipova u analiziranom uzorku. Nešto kasnije, Ballian et al. (2010) su analizirali hrast medunac (*Q. pubescens* Willd.) korišćenjem hloroplasne DNK u zapadnom delu Balkanskog poluostrva, uključujući i Srbiju, i pokazali postojanje šest haplotipova, ukazujući na visoku genetičku varijabilnost medunca. Neophytou et al. (201 su, takođe, uključili uzorke iz Srbije prilikom istraživanja genetičke diferencijacije kitnjaka (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) i lužnjaka (*Q. robur* L.) korišćenjem nuklearnih mikrosatelitnih markera. Ovi autori su ukazali na postojanje zajedničkog obrasca genetičkog variranja ove dve vrste povezanog sa geografskim regionima. Kasnije, Kesić et al. (2021) proučavali su genetički diverzitet i genetičku strukturu lužnjaka (*Q. robur* L.) u Srbiji korišćenjem nuklearnih mikrosatelitnih markera i pokazali postojanje dva genska pula koja nisu bila povezana sa geografskom distribucijom analiziranih populaci Šijačić-Nikolić et al. (2021) proučavali su genetičku diferencijaciju različitih vrsta hrastova (*Q. robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. frainetto* Ten., *Q. pubescens* Willd.) na teritoriji Specijalnog rezervata prirode „Šuma Košutnjak" u Beogradu u Srbiji, korišćenjem nuklearnih mikrosatelitnih markera. Ovi autori su ukazali na značaj *in situ* očuvanja genetičkih resursa u ovoj oblasti i predložili smernice za genetičku konzervaciju analiziranih vrsta. Popović et al. (2022) proučavali su genetičku strukturu kitnjaka (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) sa područja Predela izuzetnih odlika „Avala" u Srbiji, korišćenjem nuklearnih mikrosatelitnih markera i predložili smernice za očuvanje genofonda ove vrste.

Shodno navedenim istraživanjima, uočljivo je da su molekularni markeri jedan od najznačajnijih izvora informacija o genetičkoj varijabilnosti hrastova.

2. PREDMET, CILj I OSNOVNE HIPOTEZE ISTRAŽIVANjA

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije su četiri vrste hrastova (*Quercus* L.) na području PIO „Kosmaj", čija je adaptivna varijabilnost analizirana primenom metoda geometrijske morfometrije na listu, a neutralna varijabilnost primenom molekularnih markera.

Sprovođenje istraživanja na široko rasprostranjenim vrstama hrasta, sa visokim potencijalom adaptivne evolucije i velikom varijabilnošću morfologije, na precizno definisanoj površini PIO „Kosmaj", omogućava jasnije sagledavanje uticaja lokalnih uslova staništa, stanja životne sredine, gazdovanja populacijama i istorijskih procesa na genetičku varijabilnost.

Značajan diverzitet šumske vegetacije na Kosmaju, kao i specifične geološke, pedološke i orografske karakteristike, čine ovo područje veoma povoljnim za istraživanje unutar- i međuvrsne varijabilnosti hrastova, odnosno za uporednu analizu genetičkih karakteristika hrastova na relativno maloj površini, zbog čega se podaci o varijabilnosti mogu interpretirati u skladu sa lokalnim uslovima staništa, ali i inkorporirati u širu sliku varijabilnosti hrasta na teritoriji Evrope.

Genetički diverzitet je ključni resurs za opstanak vrsta tokom promena u spoljašnjoj sredini. Konzervacija i održivo korišćenje genetičkih resursa zahteva razumevanje distribucije i stepena genetičkog diverziteta (*in situ* i *ex situ*) kod većeg broja vrsta. Identifikacija i kvantifikovanje faktora koji utiču na genetički diverzitet, u *in situ* i *ex situ* uslovima, je posebno važna za predstavnike roda *Quercus* L. U tom smislu, karakterizacija korelacija genetičkog diverziteta kod dobro proučenih vrsta hrastova može služiti kao osnova za prediktivne modele distribucije genetičkog diverziteta (Suzuki Spence et al., 2021). Obrasci distribucije genetičke varijabilnosti reflektuju odgovore vrsta na evolucione pritiske koji deluju u trenutnim ili prethodnim sredinama i mogu dati informaciju o tome na koji način su vrste evoluirale i kako će nastaviti da evoluiraju u budućnosti. Većina istraživanja obrazaca genetičkog variranja kod drvenastih vrsta uglavnom je bilo podstaknuto pokušajima da se poveća razumevanje biodiverziteta na unutarvrsnom nivou ili evolucione dinamike u okviru vrsta biljaka tokom rane faze domestifikacije. Međutim, šumsko drveće poseduje brojne vredne aspekte koje treba istražiti, što može biti odrađeno korišćenjem morfoloških i molekularnih markera u kombinaciji sa odgovarajućim statističkim analizama, kako bi se dale preporuke za konzervaciju šumskih genetičkih resursa (Barrandeguy & Garcia, 2016).

Cilj istraživanja doktorske disertacije je karakterizacija ekološkog i konzervacionog statusa četiri vrste hrasta (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. – kitnjak, *Q. pubescens* Willd. – medunac, *Q. frainetto* Ten. – sladun, *Q. cerris* L. – cer) na području PIO „Kosmaj" i definisanje konkretnih mera konzervacije, kao i ekoloških i konzervacionih principa gazdovanja populacijama hrastova. Imajući u vidu negativne faktore koji deluju na području PIO „Kosmaj", ali i pozitivan efekat šumskog kompleksa ovog područja na stanje životne sredine, kao i vrednosti društvene, ekološke i finansijske funkcije šuma područja planine Kosmaj, povezivanje morfologije, genetike i nauke o zaštiti životne sredine jedan je od ciljeva ove doktorske

disertacije, radi definisanja smernica za monitoring, konzervaciju i održivo korišćenje populacija hrastova.

Primenom adaptivnih i neutralnih markera u analizi hrastova na području PIO „Kosmaj" dobijeni su rezultati čiji **naučni doprinos** omogućava bolje poznavanje varijabilnosti hrastova na analiziranom području. Poznavanje varijabilnosti hrastova omogućava poređenje dobijenih rezultata sa podacima publikovanim za teritoriju Evrope i šire, radi utvrđivanja opštih obrazaca varijabilnosti. Pošto je genetički diverzitet često korišćeni pokazatelj u određivanju taksonomskog statusa vrsta, dobijeni rezultati omogućavaju bolje poznavanje taksonomije hrastova na području PIO „Kosmaj". Dobijeni rezultati doprinose poznavanju veza između morfometrijskih i genetičkih karakteristika, kao odgovor na uticaj lokalnih uslova sredine i istorijskih procesa. Doprinos ovog istraživanja ogleda se, prvenstveno, u stvaranju osnova za očuvanje populacija hrastova na istraživanom području.

Opšta hipoteza doktorske disertacije glasi:

„Stepen među- i unutarvrsne genetičke varijabilnosti hrastova na području PIO „Kosmaj" može biti rezultat uticaja genotipa, lokalnih uslova staništa, stanja životne sredine, načina gazdovanja populacijama i istorijskih procesa kroz kojesu istraživane populacije prošle".

Uticaj lokalnih uslova staništa i načini gazdovanja populacijama drvenastih vrsta u velikoj meri mogu uticati na njihov fenotip. Međutim, i nakon sagledavanja postojećih razlika, veoma je teško interpretirati ih, zbog uticaja čitavog spektra potencijalnih faktora na varijabilnost. Proučavanje adaptivne i neutralne varijabilnosti na među- i unutarvrsnom nivou može predstavljati korak bliže rasvetljavanju ovog problema, posebno kod široko rasprostranjenih vrsta, kao što su vrste iz roda hrastova (*Quercus* L.).

Opšta hipoteza je obrađena pomoću **nekoliko posebnih hipoteza**:

1) adaptivna varijabilnost hrastova na području PIO „Kosmaj" povezana je sa karakteristikama staništa, koje, pored toga što diktiraju raspored vegetacije na istraživanom području, utiču i na diverzitet u svakoj od odabranih populacija;
2) postoji usklađenost rezultata dobijenih primenom adaptivnih i neutralnih genetičkih markera;
3) genetička varijabilnost hrastova na području PIO „Kosmaj" povezana je sa stanjem životne sredine i načinima gazdovanja populacijama hrastova;
4) postoji usklađenost dobijenih rezultata sa publikovanim podacima o genetičkoj varijabilnosti hrastova.

3. MATERIJAL I METODE RADA

3.1. OPIS ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Kosmaj je planina vulkanskog porekla, niska i relativno male površine, smeštena na oko 40 km južno od Beograda, između 44°29'46" i 44°25'26" severne geografske širine i 20°31'48" i 20°37'33" istočne geografske dužine (Sredojev et al., 2011; Stajić, 2016; Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Godine 2005. prirodno dobro „Kosmaj" stavljeno je pod zaštitu kao predeo izuzetnih odlika („Službeni list grada Beograda", br. 29/2005).

3.1.1. Reljef

Smešten u blizini Beograda, Mladenovca i Sopota, sa 626 m nadmorske visine, Kosmaj spada u niže planine u Republici Srbiji (u Šumadiji je od Kosmaja niža samo Avala). Kosmaj je skoro u potpunosti uravnjen i predstavlja površ u koju su urezane rečne doline, a time je jedinstvena površ raščlanjena u zaravnjene kose i pobrđa (Sredojev et al., 2011). Glavni masiv Kosmaja je polumesečastog oblika, sa pravcem pružanja jugozapad-severoistok, sastavljen od više delova – Kovijana (368 m nadmorske visine), Lupoglav (462 m nadmorske visine), Veliki Kosmaj (626 m nadmorske visine), Mali Kosmaj (546 m nadmorske visine, vrh Beli kamen) i Košutica (463 m nadmorske visine). Najizrazitiji prevoji između pomenutih morfoloških celina su Sedlar (403 m nadmorske visine, između Lupoglava i Velikog Kosmaja) i Ravnine (515 m nadmorske visine, između Velikog i Malog Kosmaja). Dolinski oblici na Kosmaju nastali su pod uticajem vodotokova Velikog Luga, Turije i Beljanice i imaju klisurast oblik (formirane na strmim padinama) i koritast oblik (na nižim delovima) (Stajić, 2016).

3.1.2. Geološka podloga

Kosmaj je izolovani ostrvski masiv krednog fliša i krečnjaka, sa probojima serpentinita i granitoida, veoma izrasedan i okružen neogenim sedimentima (Sredojev et al., 2011). Kosmaj se na severu, preko pobrđa Baba i Parcana, vezuje za masiv Avale. Upravo se u ovom severnom delu Kosmaja nalazi mezozojsko kredni litološki kompleks koji predstavlja južni ogranak Parcanskog Visa (Stajić, 2016; Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Flišne tvorevine koje izgrađuju najveći deo Kosmaja predstavljene su nizom razno bojadisanih, čvrstih, lepo stratifikovanih laporaca, breča, brečastih tankoploča stih krečnjaka i raznobojnih peščara. Na jugoistočnoj strani Kosmaja prisutni su serpentiniti na površini terena (Stajić, 2016). Smatra se da je serpentinska podloga odgovorna za relativno mali broj vrsta u flori Kosmaja u poređenju sa drugim matičnim supstratima (Obratov-Petković et al., 2004). Sumarno posmatrano, zastupljenost geološke podloge na prostru Kosmaja je sledeća: 74,4% čini fliš (peskoviti laporci, peščari i krečnjaci), 9,5% čine peskovi, peskovite gline i peščari, 6,6% čini gruboklastična serija (konglomerati Preseke), 4,4% čine sivi i rumeni peskoviti

krečnjaci, 2,9% čini deluvijum, 1,3% čine serpentini, 0,6% čini aluvijum, 0,5% čine lamprofiri a 0,1% čine apliti (Sredojev et al., 2011).

Takođe, na jugozapadnim padinama Kosmaja otkriveno je i prisustvo granitnog kamena (Gajić & Vasković, 2003). Granitoidni pluton Kosmaja je slabo otkriven u potoku Radovac u ataru sela Rogača, utisnut u sedimente gornjekrednog fliša (glinci, laporci, peščari i krečnjaci), koji su pri tome intenzivno kontaktno metamorfisani (Kurešević, 2013).

Primarni morfološki reljef oblasti Beograda nastao je kao rezultat tektonskih pokreta koji su se odvijali tokom paleogena i ranog neogena. Tokom oligocena i miocena, nekoliko horstova (strukturnih oblika nastalih relativnim spuštanjem perifernih blokova u odnosu na centralni blok) – Avala i Kosmaj, i veliki tektonski basen – Panonska nizija su se formirali, kao i male tektonske depresije južno od Panonske nizije. Turbulentna tektonska aktivnost bila je praćena vulkanskom aktivnošću, koja je trajala do kraja miocena. Magmatske stene koje datiraju iz ovog perioda uočljive su na Kosmaju i Avali. Upravo su na Kosmaju i Avali zabeležene visoke vrednosti geodiverziteta (prirodnih dobara sa naglašenim geološkim, geomorfološkim, hidrološkim, pedološkim i arheološkim obeležjem), ukazujući da ove oblasti imaju visok potencijal geokonzervacije (Ilić et al., 2016).

3.1.3. Pedološka podloga

Na Kosmaju se, osim serpentinitske podloge, javljaju i flišne tvorevine, peščari i druge tvorevine, a u skladu sa tim i različiti tipovi zemljišta (Obratov- Petković et al., 2004). Ovde se javljaju automorfna (terestrična) zemljišta, obrazovana pod uticajem atmosferskih voda. Glavni tipovi pedološkog supstrata su gajnjače i smeđe šumsko zemljište, uglavnom srednje duboka (od 40 do 80 cm), sveža i slaboskeletna. Na pojedinim delovima terena, kao što je Košutica, pedološki pokrivač je jako tanak (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Pedološka istraživanja se intenziviraju na području Kosmaja tokom poslednjih decenija. Na primer, proučavanja zemljišta na Kosmaju kao mestu uzorkovanja su omogućila formiranje teorijskih postavki o načinima klasifikacije zemljišta na osnovu sadržaja radionukleotida korišćenjem spektrometrije gama zraka (Dragović & Onjia, 2006, 2007). Sredojev et al. (2011) su istraživali pedološki pokrivač na prostoru Kosmaja i utvrdili da 42,4% čini smeđe skeletoidno kiselo zemljište na granitu, 34,9% čini gajnjača, 14,5% čini gajnjača u lesiviranju, 6,5% čini lesivirana gajnjača, dok 1,7% čini erodirana smonica. Prema istraživanjima koje je sprovela Stajić (2016) u šumskim ekosistemima Kosmaja zabeleženo je više klasa zemljišta – klasa nerazvijenih zemljišta sa građom profila (A)-C ili (A)-R (koluvijalno (deluvijalno) zemljište), klasa humusno-akumulativnih zemljišta sa građom profila A-C ili A-R (rendzina na laporovitim krečnjacima, humusno-silikatno zemljište (ranker)), klasa kambičnih zemljišta sa građom profila A-(B)-C ili A-(B)-R (eutrično smeđe zemljište (eutrični kambisol), kiselo smeđe zemljište (distrični kambisol), smeđe zemljište na krečnjaku (kalkokambisol)) i klasa eluvijalno-iluvijalnih zemljišta (ilimerizovano zemljište (luvisol)).

3.1.4. Hidrologija

Površinske vode na teritoriji planine Kosmaj pripadaju slivovima Jasenice i Kolubare. Slivu Kolubare pripada 41% površinskih voda, a najznačajnije su Turija (sa izvorišnim kracima Velike i Male Tresije i pritokama Mešatin i Drlupska reka) i Stojnička reka (desna pritoka Beljanice), koja se u gornjem delu naziva Dučinska reka sa potokom Melnice i Guberevačkom rekom. Slivu Jasenice pripada 59% površinskih voda, a najznačajnija je Veliki Lug i njene pritoke Sleničarski potok, Besna reka, potoci Alinac, Turčić, Draganić, Grabovac, Vukovac, Trnava, Kasteljan i Selište (Stajić, 2016; Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Veliki Lug izvire u blizini sela Babe pod Kosmajem na 275 m nadmorske visine, a njegovo slivno područje čine istočne padine Kosmaja i deo šumadijskih brda (Nikolić et al., 2015). Na Parcanskom Visu na Kosmaju, spajanjem više potoka sa Parcanskog Visa i dela potoka koji se slivaju sa Kosmaja, nastaje reka Raljanka na 426 m nadmorske visine (Đeković et al., 2016). Podzemne vode se javljaju u okviru raznih tipova izdani u krečnjacima koji se prazne preko brojnih izvora: Zmajevac, Koraćica, Orovac, Vrelo, Đakonovac i drugi (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Većina izvora je kaptirana za potrebe snabdevanja vodom, dok je nekoliko uređeno u vidu javnih česmi (Sredojev et al., 2011). U jugoistočnom podnožju Kosmaja, u Koraćici, javlja se mineralna voda, što je uslovilo formiranje Koraćičke banje.

3.1.5. Klima

Područje Kosmaja nalazi se u zoni umereno-kontinentalne klime. Prosečna godišnja temperatura iznosi 12,3°C. Najhladniji mesec je januar (0,9°C), a najtopliji jul (22,4°C). Prosečna godišnja količina padavina iznosi 395 mm, sa najviše padavina tokom leta, a najmanje tokom zime (Stajić, 2016). Najveće količina padavina javlja se u junu (a zatim u maju i julu, sa produžetkom i na avgust). Sekundarni maksimum se javlja u decembru i po vrednostima je sličan nivou padavina u avgustu. Najmanja količina padavina javlja se u oktobru, dok je sekundarni minimum u februaru. Pomenuta raspodela padavina karakteristična je za tipično kontinentalne varijante pluviometrijskog režima (Sredojev et al., 2011). Maksimum oblačnosti je u periodu od novembra do februara, a minimum u periodu od jula do septembra. Najveće vrednosti insolacije javljaju se leti (jul, avgust) a najmanje zimi (januar, decembar). Na Kosmaju se formira ruža vetrova, jer se ovde spajaju vazdušne struje sa Mediterana i Karpata. U toku godine, severozapadni i zapadni vetrovi imaju ravnomernu distribuciju, a košava je specifična za rano proleće, zimu i kasnu jesen.

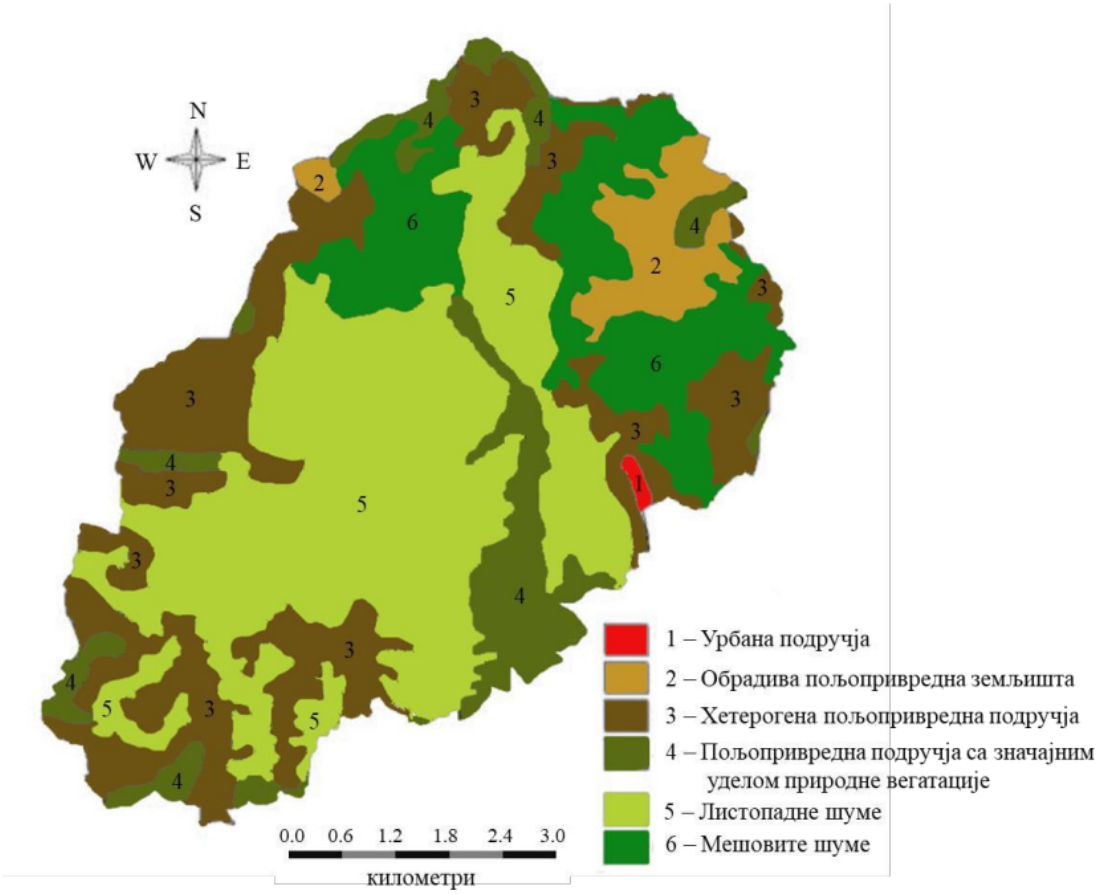
3.1.6. Flora i vegetacija

Floru Kosmaja istraživao je relativno mali broj autora. Prve podatke dao je Pančić (1874) u „Dodatku Flori Kneževine Srbije", gde navodi da se Kosmaj odlikuje prisustvom serpentinita i odgovarajućom serpentinskom florom. Šumske i livadske zajednice Kosmaja, kao i detaljniji opis flore Kosmaja dao je Gajić (1954, 1962). Doprinos znanju odnosa zemljišta i biljaka na Kosmaju dala je grupa autora početkom 21. veka (Kadović et al., 2003; Obratov-Petković et al., 2004), dok je detaljan opis šumskih fitocenoza Kosmaja dala Stajić (2016). Karakterističan geološki sastav, nadmorska

visina do 630 m, kao i istorijski razvoj flore i vegetacije značajno su uticali na floristički i vegetacijski diverzitet Kosmaja (Sredojev et al., 2011).

Kosmaj spada u balkansku florističku provinciju (srednjeevropski region). Više od 70% teritorije ove planine nalazi se pod šumskom vegetacijom, prvenstveno pod izdanačkim hrastovim i bukovim sastojinama, ali i onim veštački podignutim (slika 10) (Stajić, 2016). Od ukupne površine pod šumom, 79,32% čine izdanačke šume, dok je udeo šuma sa visokim lišćarima svega 1,96% (Veselinović et al., 2012). Oranice, voćnjaci i livade preovlađuju u podnožju planine na teritoriji sela Rogač, Nemenikuće, Amerić, Koraćica i Velika Ivanča (Filipović et al., 2013). Flora Kosmaja obuhvata 557 biljnih vrsta, svrstanih u 298 rodova i 74 porodice. U flori Kosmaja izdvaja se 30 reliktnih i deset subendemičnih vrsta, od kojih pet pripada strogo zaštićenim i zaštićenim vrstama: resasti luk (*Allium paniculatum* L.), zanovet (*Laburnum anagyroides* Medik.), zlatni ljiljan (*Lilium martagon* L.), šiljorep (*Limodorum abortivum* (L.) Sw.) i crveni kaćun (*Orchis purpurea* Hudson), jedna vrsta sa Svetske Crvene liste – žavornjak (*Delphinium fissum* Waldst. et Kit.), kao i 25 vrsta koje spadaju u neku kategoriju ugroženosti (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Distribucija lekovitih vrsta biljaka na Kosmaju je veoma neujednačena, pod dejstvom degradiranosti šumskih i livadskih ekosistema i karakteristika podloge, koje značajno utiču na strukturu i brojnost biljnih vrsta. Neke od lekovitih biljaka zabeleženih na Kosmaju su talac (*Calamintha vulgaris* L.), kičica (*Centaurium umbellatum* Gillib.), hajdučka trava (*Achillea millefolium* L.), poljska metvica (*Mentha arvensis* L.), obična majčina dušica (*Thymus pulegioides* L.), kantarion (*Hypericum perforatum* L.), ivanjsko cveće (*Galium verum* Scop.), cikorija (*Cichorium intybus* L.), vranilova trava (*Origanum vulgare* L.), podubica (*Teucrium chamaedrys* L.), divlji pelin (*Artemisia vulgaris* L.), veliki čistac (*Stachys recta* L.), prstenak (*Anthemis austriaca* Jacq.), sremuš (*Allium ursinum* L.) i druge (Obratov-Petković etal., 2004; Pavlović et al., 2010; Gordanić et al., 2021).

Vegetacija Kosmaja obuhvata četiri osnovne šumske zajednice: *Quercetum frainetto-cerris* (klimazonalna zajednica sladuna i cera), *Quercetum cerris* (cerove šume), *Querco-Carpinetum serbicum* (zajednica cera i graba) i *Fagetum montanum* (brdske šume bukve). Na nižim nadmorskim visinama Kosmaja javljaju se zeljasti tipovi vegetacije specifični po prisustvu kseromezofilnih pašnjaka i kserofilnih brdskih livada. Dominantne su tri zeljaste biljne zajednice (*Festucetum valesiacae*, *Chrysopogonetum grylli* i *Cynosuretum cristati*) (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Na lokalitetu Sedlar na Kosmaju opisana je degradaciona faza zajednice *Festucetum vallesiacae*, sa dominantnom kupinom (*Rubus hirtus* Waldst. et Kit.), dok je na lokalitetu Beli kamen takođe zastupljena degradaciona faza ove zajednice, ali sa dominantnom mekommedunikom (*Holcus mollis* L.) (Kadović et al., 2003).



Slika 10. Karta vegetacije Kosmaja (modifikovana prema Sredojev et al. 2011)

Prema istraživanjima koje je sprovela Stajić (2016), šumska vegetacija Kosmaja spada u termofilne listopadne šume (razred: *Querco-Fagetea* Br.-Bl. et Vlieger 1937). Red ksero-termofilnih šuma (*Quercetalia pubescentis* J.Br.-Bl. & Br.-Bl. 1931.) obuhvata dve sveze – šume sladuna (sveza *Quercion farnetto* Ht 1954.) i šume kitnjaka i cera (sveza *Quercion petraeae-cerridis* (R. Lakušić 76) Lakušić & B. Jovanović 1980.). Šume sladuna predstavljene su jednom asocijacijom – šuma sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerridis* Rudski 1949), a šume kitnjaka i cera dvema asocijacijama – šuma cera sa crnim jasenom (*Fraxino orni-Quercetum cerridis* Stefanović 1968.) i šuma kitnjaka i cera (*Quercetum petraeae-cerridis* B. Jovanović 1979. s.l.). Red mezofilnih šuma (*Fagetalia sylvaticae* Pawlowski in Pawlowski et al. 1928) obuhvata dve sveze – mezofilne šume graba (sveza *Carpinion betuli* Oberdorfer 1957 emend Weinert 1968.) i mezijske šume bukve (sveza *Fagion moesiacae* Blečić & Lakušić 1976.). Mezofilne šume graba predstavljene su jednom asocijacijom – šuma kitnjaka i graba (*Querco petraeae-Carpinetum betuli* Rudski 1949. s.l.), a mezijske šume bukve dvema asocijacijama – brdska šuma bukve (*Helleboro odori-Fagetum moesiacae* Soo & Borhidi 1960.) i mešovita šuma bukve i kitnjaka (*Querco petraeae-Fagetum moesiacae* Glišić 1971.).

3.1.6.1. Zajednica sladuna i cera (Quercetum frainetto-cerridis Rudski 1949.)

Zajednica sladuna i cera široko je rasprostranjena na Kosmaju, uglavnom na nižim delovima, manjim nagibima i toplijim ekspozicijama. Obuhvata četiri subasocijacije:

1) subasocijacija *typicum* (u nižim predelima, na dubljim i svežijim zemljištima),
2) subasocijacija *aculeatetosum* (na Malom Kosmaju, karakteristično je prisustvo oštrolisne kostrike – *Ruscus aculeatus* L.),
3) subasocijacija sa kitnjakom *quercetosum petraeae* (na strmim terenima i većoj nadmorskoj visini),
4) subasocijacija *pubescentosum* (šuma sladuna i cera sa meduncem,najtermofilnija, javlja se isključivo na toplijoj bazičnoj podlozi) (Stajić, 2016).

Analizom uticaja orografskih faktora, kao što su nadmorska visina, ekspozicija i nagib terena, pokazano je da šume sladuna i cera imaju najširu ekološku amplitudu. Najviše su rasprostranjene u pojasu od 401 do 500 m nadmorske visine. U najvišem visinskom pojasu ih je znatno manje, a pojavljuju se na toplim jugoistočnim ekspozicijama (Obratov-Petković et al. 2004; Stajić et al. 2019). U spratu drveća preovlađuju edifikatori cer (*Quercus cerris* L.) i sladun (*Q. frainetto* Ten.), a kao subedifikatori u pojedinim delovima javljaju se kitnjak (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) (na višim delovima) i medunac (*Q. pubescens* Willd.) (isključivo na krečnjaku). Detaljan floristički sastav zajednice sladuna i cera prikazan je u prilogu 1.

3.1.6.2. Zajednica cera sa crnim jasenom (Fraxino orni-Quercetum cerridis Stefanović1968.)

Zajednica cera sa crnim jasenom na Kosmaju rasprostranjena je na manjim površinama, prvenstveno na južnim padinama Velikog Kosmaja, ali i fragmentarno na Malom Kosmaju. Zauzima visinske pojaseve od 454 do 560 m nadmorske visine i pretežno toplije ekspozicije. Javlja se isključivo na silikatnoj podlozi (Stajić, 2016). U spratu drveća preovlađuju edifikatori crni jasen (*Fraxinus ornus* L.) i cer (*Quercus cerris* L.) (Stajić et al., 2021). Detaljan floristički sastav zajednice cera sa crnim jasenom prikazanje u prilogu 2.

3.1.6.3. Zajednica kitnjaka i cera (Quercetum petraeae-cerridis B. Jovanović 1979. s.l.)

Zajednica kitnjaka i cera se na području Kosmaja odlikuje širokom ekološkom amplitudom, odnosno prisutna je u širokom opsegu nadmorskih visina, od 348 do 573 m (prema Stajić et al. (2019) najzastupljenija je od 401 do 500 m), kao i na različitim ekspozicijama (češće na toplijim). Najviše šuma kitnjaka i cera nalazi se na padinama Velikog Kosmaja. Ove šume alterniraju sa šumama sladuna i cera i prethode bukovo- kitnjakovim i bukovim šumama. Obuhvata dve subasocijacije:

1) subasocijacija *typicum* (floristički bogata),

2) subasocijacija *caricetosum silvaticae* (mezofilnija, na hladnijim ekspozicijama i dubljim eutričnim zemljištima, sa karakterističnom vrstom *Carex sylvatica* Huds.) (Stajić, 2016).

U spratu drveća preovlađuju edifikatori kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) i cer (*Quercus cerris* L.) (Stajić et al., 2021). Detaljan floristički sastav zajednice kitnjaka i cera prikazan je u prilogu 3.

3.1.6.4. Zajednica kitnjaka i graba (Querco petraeae-Carpinetum betuli Rudski 1949. s.l.)

Zajednica kitnjaka i graba je zastupljena fragmentarno na Malom Kosmaju, na nadmorskoj visini od 339 do 410 m, od istočne do severoistočne ekspozicije. Razvija se na flišu kao geološkoj podlozi i ilimerizovanim zemljištima. Obuhvata subasocijaciju *aculeatetosum*, koja je specifična po prisustvu oštrolisne šašike (*Ruscus aculeatus* L.) (Stajić, 2016). U spratu drveća preovlađuju edifikatori kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) i grab (*Carpinus betulus* L.) (Stajić et al., 2020). Detaljan floristički sastav zajednice kitnjaka i graba prikazan je u prilogu 4.

3.1.6.5. Zajednica brdske bukve (Helleboro odori-Fagetum moesiacae Soo & Borhidi 1960)

Zajednica brdske bukve se na Kosmaju javlja na nadmorskim visinama od 300 do 600 m, najviše čistih sastojina na nadmorskim visinama od 401 do 500 m. Manji broj čistih sastojina nalazi se na nižim nadmorskim visinama (Stajić, 2016). U spratu drveća preovlađuje bukva (*Fagus moesiaca* (Maly) Domin.) (Obratov-Petković et al. 2004). Detaljan floristički sastav zajednice brdske bukve prikazan je u prilogu 5.

3.1.6.6. Mešovite zajednice bukve i kitnjaka (Querco petraeae-Fagetum moesiacae Glišić 1971.)

Mešovite zajednice bukve i kitnjaka se na području Kosmaja javljaju između zajednica brdske bukve i zajednice kitnjaka i cera (ili samo cera), a u nekim delovima se spuštaju niže, nadovezujući se na zajednicu sladuna i cera (Stajić, 2016). Najzastupljenije su na nadmorskim visinama od 501 do 600 m (Stajić et al. 2019). Na Kosmaju, mešovita zajednica bukve i kitnjaka se javlja na flišu, na zaklonjenim ekspozicijama. Obuhvata dve subasocijacije:

1) subasocijacija *typicum* (najčešće zastupljena),

2) subasocijacija *caricetosum pilosae* (karakteristična po prisustvu trepljaste oštrike – *Carex pilosa* Scop.) (Stajić, 2016).

U spratu drveća preovlađuju edifikatori kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) i bukva (*Fagus moesiaca* (Maly) Domin.) (Stajić et al., 2021). Detaljan floristički sastav zajednice bukve i kitnjaka prikazan je u prilogu 6.

Sa povećanjem nadmorske visine, blizu granice svog visinskog rasprostranjenja, hrastovi sve više zauzimaju staništa sa toplijim kombinacijama ekspozicije i nagiba terena. Kitnjak, kao mezofilnija vrsta od cera, u sastojinama gde se nalaze zajedno, se na

manjim nadmorskim visinama javlja na staništima koja su hladnija od cerovih (a samim tim i sladuna i cera), ali najviše domete svog visinskog rasprostranjenja dostiže na najtoplijim kombinacijama ekspozicije i nagiba (Stajić, 2016).

3.1.6.7. Veštački podignute sastojine

Iako je preko 70% površine planine Kosmaj pod šumskom vegetacijom u kojoj dominiraju izdanačke hrastove i bukove sastojine, javljaju se i veštački podignute, uglavnom četinarske šume, pretežno na staništu sladuna, cera i bukve (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020).

Na području Kosmaja, **veštački podignute sastojine na staništu sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerridis* Rudski 1949.)** su:

1) veštački podignuta sastojina smrče (*Picea abies* (L.) Karst), atlaskog kedra(*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) i duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco),
2) veštački podignuta sastojina duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco),
3) veštački podignuta sastojina crnog bora *(Pinus nigra* Arnold),
4) veštački podignuta sastojina crnog bora (*Pinus nigra* Arnold) i belog bora(*Pinus sylvestris* L.) sa lužnjakom (*Quercus robur* L.) (Stajić, 2016).

Detaljan floristički sastav ovih sastojina prikazan je u prilogu 7.

Na staništu kitnjaka i cera (*Quercetum petraeae-cerridis* B. Jovanović 1979. s.l.) veštački podignute sastojine su:

1) veštački podignuta sastojina pensilvanijskog jasena (*Fraxinus pennsylvanica* Marsch.),
2) veštački podignuta sastojina bagrema (*Robinia pseudoacacia* L.),
3) veštački podignuta sastojina lužnjaka (*Quercus robur* L.), cera (*Quercus cerris* L.) i crnog bora (*Pinus nigra* Arnold),
4) veštački podignuta sastojina crnog bora (*Pinus nigra* Arnold),
5) veštački podignuta sastojina duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco),
6) veštački podignuta sastojina kedra (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière),
7) veštački podignuta sastojina kedra (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) i kavkaskejele (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach) (Stajić, 2016).

Detaljan floristički sastav ovih sastojina prikazan je u prilogu 8.

Veštački podignute sastojine na staništu brdske bukve (*Helleboro odori-Fagetum moesiacae* Soo & Borhidi 1960.) su:

1) veštački podignuta sastojina smrče (*Picea abies* (L.) Karst),
2) veštački podignuta sastojina oraha (*Juglans regia* L.) (Stajić, 2016).

Detaljan floristički sastav ovih sastojina prikazan je u prilogu 9.

Veštački podignute sastojine na staništu bukve i kitnjaka (*Querco petraeae-Fagetum moesiacae* Glišić 1971.) su:

1) veštački podignuta sastojina lužnjaka (*Quercus robur* L.),
2) veštački podignuta sastojina duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) (Stajić, 2016).

Detaljan floristički sastav ovih sastojina prikazan je u prilogu 10.

3.1.7. Fauna

Fauna Kosmaja je veoma bogata. Entomofaunu (faunu insekata) proučavao je relativno mali broj autora (na primer Marković & Stojanović 2015; Ćurčić et al., 2019; Protić, 2020), ali je utvrđeno postojanje osam balkanskih endemita, pet endemita Srbije, uključujući i jednu stenoendemičnu vrstu. Herpetofauna (fauna vodozemaca i gmizavaca) obuhvata 24 vrste (13 vrsta vodozemaca i 11 vrsta gmizavaca), od kojih je 16 svrstano u strogo zaštićene i zaštićene vrste, a tri vrste su pod kontrolom korišćenja. Ornitofauna (fauna ptica) na Kosmaju broji 96 vrsta, sa većim brojem retkih, ugroženih i zaštićenih vrsta (29 vrsta se nalazi na Listi prirodnih retkosti Srbije, odnosno svetskoj i evropskoj Crvenoj listi ugroženih vrsta) – neke od njih su prdavac (*Crex crex* L.), ćuk (*Otus scops* L.), pomrakuša (*Caprimulgus europaeus* L.), zlatovrana (*Coracius garrulus* L.), zelena žuna (*Picus viridis* L.), šumska ševa (*Lullula arborea* L.), obična crvenrepka (*Phoenicurus phoenicurus* L.) i vrtna strnadica (*Emberiza hortulana* L.) (Filipović & Obradović-Arsić, 2011; Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Zbog velikog broja vrsta, Kosmaj je prepoznat kao potencijalno mesto razvoja ornitoturizma, jer predstavlja dobru lokaciju za posmatranje ptica (Lukinović & Jovanović, 2020). Fauna sisara Kosmaja obuhvata 51 vrstu, svrstanu u šest redova. Od pomenutog broja vrsta, 30 je na listi prirodnih retkosti (Filipović & Obradović-Arsić, 2011). Najviše vrsta (16) pripada glodarima (Rodentia), ljiljcima (Chiroptera) pripada 15 vrsta, zverima (Carnivora) osam vrsta, bubojedima (Insectivora) sedam vrsta, papkarima (Artiodactyla) četiri vrste, dok zečevima i srodnicima (Lagomorpha) pripada jedna vrsta (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Na teritoriji Kosmaja nalazi se lovište „Kosmaj" površine 26.962 ha, kojim gazduje Lovačko udruženje „Kosmaj" i lovište „Varovnice" površine 33.844 ha, kojim gazduje Lovačko udruženje „Varovnica".

3.1.8. Stanje životne sredine i status zaštite

Na području Kosmaja postoji izražen antropogeni uticaj na životnu sredinu. U podnožju Kosmaja, usled velikog broja ruralnih naselja, lokalno stanovništvo svojim aktivnostima (ispaša i poljoprivredne aktivnosti) ugrožava primarnu vegetaciju. Na nižim nadmorskim visinama na Kosmaju javlja se i nekontrolisana i neplanska izgradnja velikog broja stambenih objekata (vikendica). Posebno je značajno i prisustvo „divljih" deponija komunalnog, građevinskog i drugog otpadnog materijala.

Zagađenje vazduha je najizraženije u zimskom periodu iz individualnih ložišta lokalnog stanovništva (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Analiza sadržaja nikla u drvenastim i zeljastim biljkama sa teritorije Kosmaja pokazala je da se ovaj teški metal javlja u dozvoljenim koncentracijama, ali da koncentracija raste sa blizinom saobraćajnica, ukazujući da je ispitivani metal na području Kosmaja antropogenog porekla i produkt je izduvnih gasova iz saobraćaja (Stanković et al., 2014).

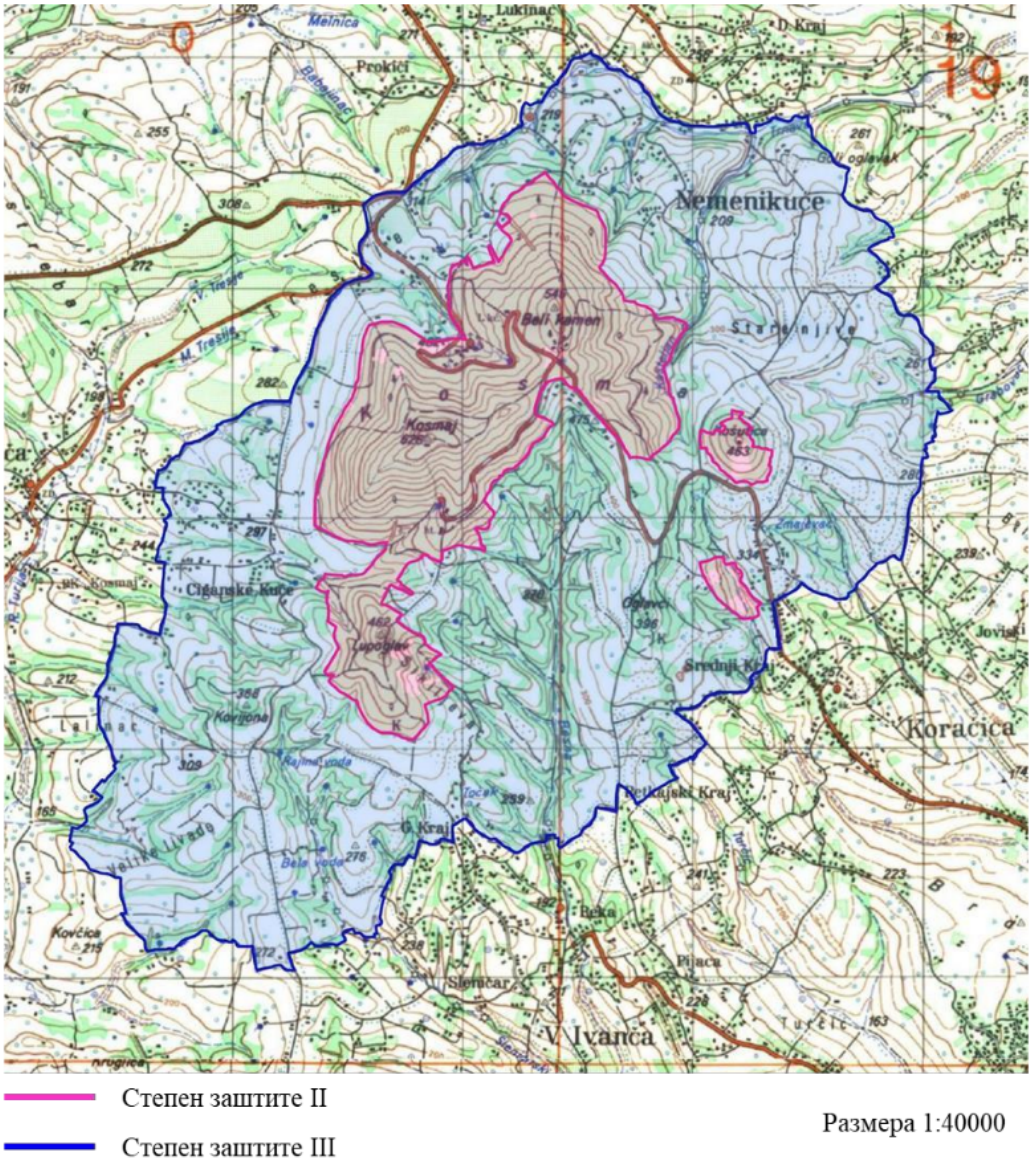
Smatra se da su sastojine na Kosmaju zadovoljavajućeg zdravstvenog stanja, odnosno nije opservirano značajnije prisustvo entomoloških i fitopatogenih oboljenja (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Istraživanja su pokazala da šumski kompleks Kosmaja apsorbuje godišnje 31.401 tonu prašine, tokom vegetacionog perioda apsorbuje 62.802 kg sumpordioksida, godišnje oslobađa više od 6.908 tona kiseonika i vezuje 9.420 tona ugljendioksida, a tokom 24 časa izbacuje u atmosferu više od 1.884 kg isparljivih

organskih materija sa fitoncidnim dejstvima (Vukin et al., 2013). Prema istraživanjima koje su sproveli Jović et al. (2014), šume područja planine Kosmaj imaju najveću vrednost društvene funkcije, zbog činjenice da se nalaze u blizini urbanih naselja, dok su vrednosti funkcije ekološke stabilnosti manje. Prosečna finansijska vrednost funkcije bioprodukcije je znatno manja. Potencijal pomenutih funkcija je viši od efekata (trenutnog stanja) i može se ostvariti ukoliko se uslovi u šumama Kosmaja poboljšaju implementacijom adekvatnih mera gazdovanja.

Radi očuvanja i unapređenja pejzažnih karakteristika i predeonih vrednosti, strukture i kvaliteta šuma, diverziteta staništa, flore i faune, kvaliteta voda, zemljišta i vazduha, kao i dobara kulturne baštine, 2005. godine prirodno dobro „Kosmaj" stavljeno je pod zaštitu kao predeo izuzetnih odlika („Službeni list grada Beograda", br. 29/2005). Na području PIO „Kosmaj" ustanovljen je dvostepeni režim zaštite: II stepena (677,00 ha) i III stepena (2.837,50 ha) (slika 11). Režimom zaštite II stepena obuhvaćen je prostor Gazdinske jedinice „Kosmaj" površine 659,30 hektara i dva posebna dela oko vrha Košutica i manastira Pavlovac (Sredojev et al., 2011). Režimom zaštite III stepena obuhvaćen je ostali prostor u granicama zaštićenog predela (Stajić, 2016; Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020). Ukupna površina zaštićenog prirodnog dobra iznosi 3.514,50 ha na teritoriji administrativnog područja Beograda, gradske opštine Mladenovac (Amerić, Koraćica, Velika Ivanča) i gradske opštine Sopot (Rogača iNemenikuće) (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020).

Strateški okvir zaštite Kosmaja čini Prostorni plan Republike Srbije, a bliži planski okvir čini Regionalni prostorni plan administrativnog područja Beograda, koji predstavljaju Kosmaj kao južni deo zelenog koridora grada Beograda koji ima rekreativno-turističku i ekološku namenu (Filipović & Obradović-Arsić, 2011).

Pored toga što predstavlja zaštićeno prirodno dobro na nacionalnom nivou, Kosmaj je i Ekološki značajno područje Republike Srbije, utvrđeno Uredbom o ekološkoj mreži (Službeni glasnik RS, br. 102/2010), Odabrano područje za dnevne leptire u Srbiji (PBA - *Prime Butterfly Areas in Serbia*) i Emerald (*Emerald*) područje – PIO „Kosmaj". Prema kriterijumima Međunarodne unije za zaštitu prirode, područje Kosmaja je svrstano u kategoriju „zaštićenih kopnenih/marinskih predela" (*Protected Landscapes/Seascapes*) (Stajić et al., 2018).



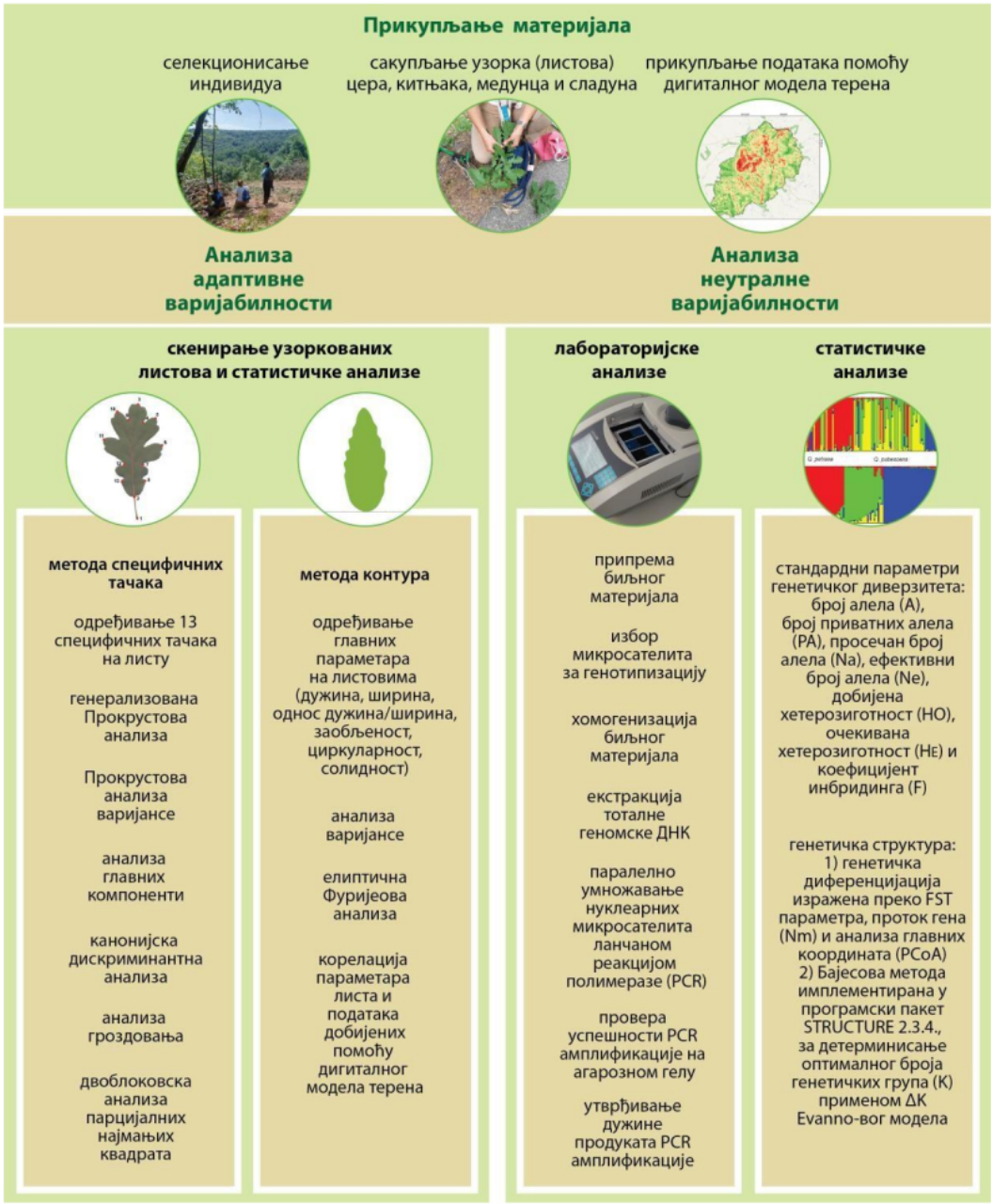
Slika 11. Karta zaštićenog prirodnog dobra „Kosmaj" (modifikovana prema Planupravljanja PIO „Kosmaj", 2020)

U okviru predloga za očuvanje i unapređenje karaktera predela uspostavljanjem zelene infrastrukture i kulturne staze na teritoriji Gradske Opštine Mladenovac, Vasiljević et al. (2014) su prepoznali Kosmaj kao glavnog nosioca karaktera predela (prirodnih i kulturnih elemenata), jer je u određenim oblastima, kao što su južna padina Kosmaja sa Košuticom i pobrđe i zaravni Koraćice i Velike Ivanče u podnožju Kosmaja, moguće integrisati vrednosti na nivou karaktera predela i sačuvati njegov identitet. Ovo se može postići sprovođenjem neophodnih mera u gazdovanju šumama na teritoriji PIO „Kosmaj", kojima se omogućava poboljšanje njihove strukture, očuvanje

raznovrsnosti i autohtonosti dendroflore. Takođe, Filipović et al. (2013) prepoznali su područja Kosmaja i Avale kao oblasti pogodne za razvijanje agro-ekoturizma i ruralnog turizma, kao i oblasti adekvatne za proizvodnju organskog voća (i u manjoj meri povrća, lekovitog i aromatičnog bilja) i uzgoj životinja u zdravoj i očuvanoj životnoj sredini.

3.2. ANALIZA GENETIČKE VARIJABILNOSTI

Genetička varijabilnost hrastova sa područja PIO „Kosmaj" proučena je analizom adaptivne i neutralne varijabilnosti. Pregled sprovedenih istraživanja prikazan je na slici 12.



Slika 12. Prikaz istraživanja sprovedenih u okviru doktorske disertacije

Terenska istraživanja izvršena su na području PIO „Kosmaj”, gde su selekcionisane individue i prikupljen biljni materijal za dalje analize. Pomoću softverskog paketa QGIS Desktop 3.22.4. izrađen je digitalni model terena istraživanogpodručja.

Istraživanja adaptivne varijabilnosti primenom metoda geometrijske morfometrije izvršena su korišćenjem skenera adekvatne rezolucije i savremenih statističkih alata (tps, MorphoJ, MASS).

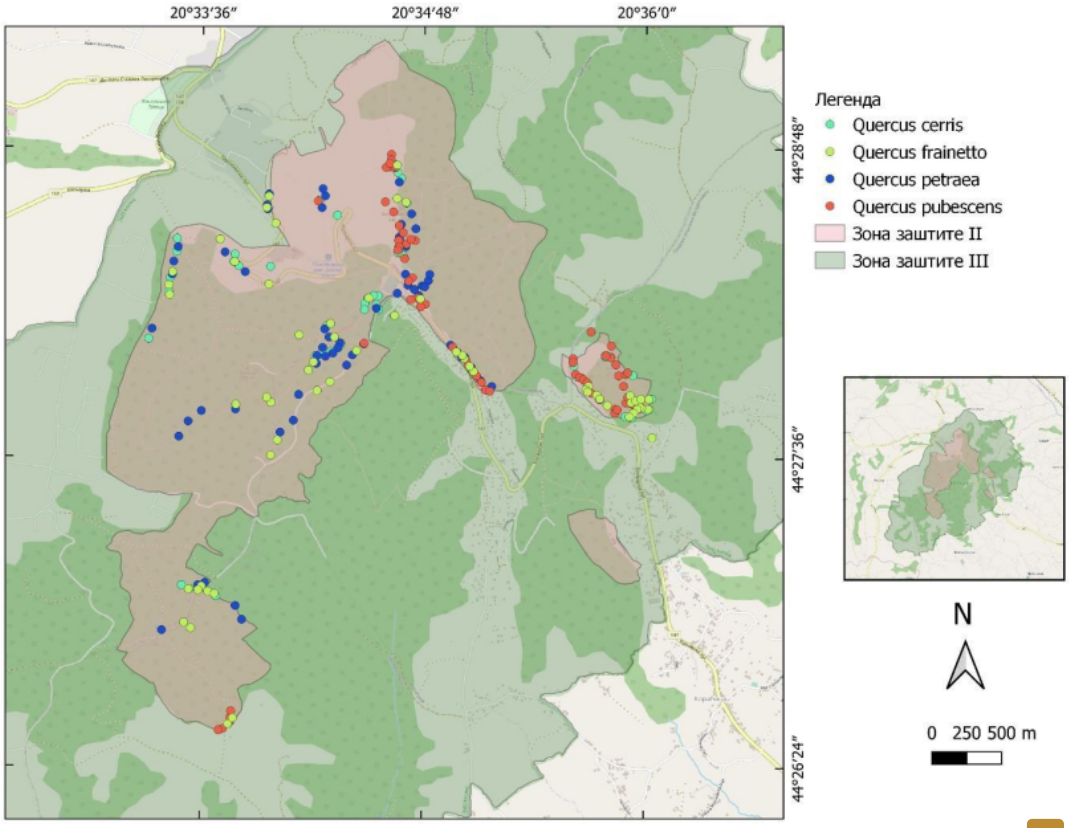
Istraživanja neutralne varijabilnosti primenom nuklearnih mikrosatelita sprovedena su u Laboratoriji za biotehnologiju pri Katedri Semenarstva, rasadničarstva i pošumljavanja Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, a dobijeni podaci obrađeni su u različitim softverskim paketima (GenAlEx 6.5, HP-Rare 1.0, NeEstimator, STRUCTURE 2.3.4.).

3.2.1. Analiza adaptivne varijabilnosti

3.2.1.1. Prikupljanje materijala

Tokom avgusta 2022. godine, selekcionisano je 247 individua četiri različite vrste hrastova: cer – 60, kitnjak – 60, medunac – 65, sladun – 62. Osnovni podaci o selekcionisanim individuama, visina (m), prečnik na visini 1,3 m, obim na visini 1,3 m i maksimalni raspon krošnje (2) deponovani su u Centru za monitoring i konzervaciju šumskih genetičkih resursa pri Katedri za Semenarstvo, rasadničarstvo i pošumljavanje Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Sa svake selekcionisane individue je uzorkovano 100 potpuno razvijenih listova, na visini od 3 do 4 m, u zasenčenim uslovima. Svi listovi su herbarizovani i skenirani korišćenjem skenera Canon Pixma MG2550 pri rezoluciji od 300 dpi. Prostorni raspored selekcionisanih individua za morfometrijsku analizu prikazan je na slici 13, geografske koordinate za svaku selekcionisanu inidividuu u prilozima 11-14, a foto- tablice selekcionisanih individua za svaku od vrsta u prilozima 15-18. Kako bi uzorak bio reprezentativan i da bi se obuhvatio što širi genofond populacija odabranih vrsta hrastova, individue su selekcionisane na minimalnoj udaljenosti od 50 m jedna oddruge, ravnomerno raspoređene na čitavom području PIO „Kosmaj”.



Slika 13. Prostorni raspored selekcionisanih individua analiziranih autohtonih hrastova (cer – *Quercus cerris*, sladun – *Quercus frainetto*, kitnjak – *Quercus petraea*, medunac – *Quercus pubescens*), sa prikazom granica II i III zone zaštite na području PIO „Kosmaj"

Na svakom od sakupljenih listova obeleženo je 13 specifičnih tačaka, prema metodologiji koju je predložio Viscosi (2015), korišćenjem programa tpsDig i tpsUtil (Rohlf, 2015). Prve tri specifične tačke (1-3) bile su neparne i distribuirane duž centralne ose lista, dok su ostale tačke bile parne i distribuirane simetrično na obe strane lista (slika 14).



Slika 14. Konfiguracija 13 specifičnih tačaka na listu hrasta

Radi povezivanja morfometrijskih karakteristika lista i uslova staništa, korišćen je digitalni model terena dobijen u programu QGIS Desktop 3.22.4. Za dobijanje digitalnog modela terena korišćen je dodatak SRTM Downloader 3.1.17. Ovaj dodatak preuzima podatke o nadmorskoj visini sa servera koji je razvila NASA (*NASA Earth Data Server*) sa najvećom rezolucijom od 30 m. Radi dobijanja podataka o nadmorskoj visini (m), nagibu terena (%) i ekspoziciji, korišćene su standardne procedure programa QGIS (*aspect, r.slope.aspect*), pri čemu su dobijeni rasterski podaci za područje Kosmaja, a zatim je korišćenjem opcije uzorkovanja rasterskih vrednosti (*Sample raster values*) dobijena vrednost za svaku od selekcionisanih individua. Korišćenjem opcije *Clip raster by mask layer* podaci sa servera su ograničeni na područje Kosmaja i predstavljeniu vidu mapa.

3.2.1.2. Statističke analize

Geometrijska morfometrija je savremena morfometrijska metoda koja proučava relativne položaje specifičnih tačaka radi kvantifikacije veličine i oblika morfoloških struktura (Viscosi & Cardini, 2011; Jovanović et al., 2022c). List čini veoma pogodnu strukturu za primenu metoda geometrijske morfometrije, jer često predstavlja diskriminativno svojstvo koje služi za identifikaciju vrsta, posebno onih koje se odlikuju niskim variranjem floralnih struktura i kratkim sezonama cvetanja, kao što

su hrastovi (Stace, 1982). Morfologija lista je najčešće proučavana tradicionalnom morfometrijom (Desmond et al., 2021; Zumwalde et al., 2021), obično upotrebom statističkih metoda na nizu linearnih mera, kao što su distanca, odnos, ugao i površina (Mitteroecker & Gunz, 2009). Međutim, korišćenjem linearnih mera izražen je efekat veličine na morfometrijske karakteristike lista (Kremer et al., 2002). Stoga, da bi se prevazišao problem uticaja veličine lista na njegov oblik, tokom poslednjih decenija poraslo je interesovanje za korišćenjem geometrijske morfometrije u proučavanju listova. Upotrebom ove metode, geometrijska informacija o razlikama u obliku je očuvana, statistička moć je izraženija i podaci se lako mogu vizualizovati (Viscosi, 2015).

U geometrijskoj morfometriji, selekcija specifičnih tačaka u proučavanju listova zahteva ispunjenje četiri kriterijuma – repitabilnost (potencijal lociranja izabranih specifičnih tačaka na uzorku više puta), konzistencija (zadržavanje istih relativnih položaja među specifičnim tačkama), adekvatnost (isti broj i položaj korišćenih specifičnih tačaka) i homologija (podudarnost između specifičnih tačaka kod više uzoraka) (Zelditch et al., 2004). Iako su sva četiri kriterijuma važna za kvalitet specifičnih tačaka, uspostavljanje homologije je ključno, jer se samo upotrebom homolognih specifičnih tačaka istraživani oblici zaista mogu porediti (Christodoulou et al., 2020).

Ograničenja koja nameće homologija dovela su do povećanja popularnosti metoda analiza kontura (*outline*). Zamenom homolognih specifičnih tačaka regularno odvojenim tačkama duž krive, analiza konture zaobilazi problem homologije i može biti korišćena u slučajevima gde su specifične tačke oskudne ili teške za definisanje. Podaci o konturi se tada mogu analizirati korišćenjem Furijeovih harmonika ili drugih vidova analiza, kao što je eliptična Furijeova analiza (Bonhomme et al., 2014).

U analizi adaptivne varijabilnosti listova izabranih vrsta hrastova u ovoj doktorskoj disertaciji primenjene su **metode specifičnih tačaka** (*landmarks*) i **metode kontura** (morfološka analiza veličine i oblika, MASS, *Morphological Analysis of Size and Shape*).

Metoda specifičnih tačaka

Metoda specifičnih tačaka obuhvatala je generalizovanu Prokrustovu analizu, koja je služila za dobijanje početnih podataka, koji su dalje analizirani Prokrustovom analizom varijanse (Procrustes ANOVA) i analizom glavnih komponenti (PCA). Za prikupljanje dvodimenzionalnih podataka, odnosno X i Y koordinata specifičnih tačaka na skeniranim listovima, korišćen je programski paket tpsDig (Slice et al., 1998). Upotreba pomenutog programa omogućava određivanje konfiguracije svih analiziranih listova pomoću specifičnih tačaka. Programski paket tpsUtil korišćen je za pripremu ulaznih podataka za tpsDig (Rohlf, 2015). Posle određivanja koordinata specifičnih tačaka, za analizu oblika geometrijskom morfometrijom korišćen je programski paket MorphoJ (Klingenberg, 2011).

Generalizovana Prokrustova analiza (GPA) je najčešće primenjivana procedura u studijama geometrijske morfometrije, kojom se eliminacijom efekta veličine, položaja i orijentacije izdvajaju varijable oblika za svaki list iz uzorka. Prokrustovom analizom (Prokrustovom superimpozicijom ili poravnanjem) se skaliranjem,

translacijom i rotacijom konfiguracija specifičnih tačaka koje opisuju svaki list, eliminišu sve razlike u datom uzorku koje su uslovljene razlikama u veličini, položaju i orijentaciji. Time se zadržavaju samo informacije koje su direktno vezane za razlike u obliku. Osnovni koraci GPA su: (1) skaliranje konfiguracije specifičnih tačaka na jediničnu veličinu centroida, što se postiže deljenjem koordinata svake od specifičnih tačaka konfiguracije sa veličinom centroida; (2) centriranje (translacija) svake konfiguracije specifičnih tačaka u odnosu na ose koordinatnog sistema, čime se eliminiše efekat položaja; (3) rotiranje svake konfiguracije u odnosu na referentnu konfiguraciju, tako da se njihove konfiguracije preklapaju u najvećoj meri. GPA se izvodi u nekoliko ciklusa, od kojih svaki sadrži pomenute korake. Ciklusi se smenjuju dok se ne postigne položaj u kome je zbir kvadrata rastojanja specifičnih tačaka u odnosu na referentnu konfiguraciju najmanji. Koordinate specifičnih tačaka nakon skaliranja, centriranja i rotacije (čime su eliminisane sve razlike u veličini, položaju i orijentaciji konfiguracija specifičnih tačaka) nose informacije o obliku određene konfiguracije i označavaju se kao Prokrustove koordinate i predstavljaju polazne podatke za dalje analize varijabilnosti oblika. Posle Prokrustove superimpozicije tačaka, konfiguracije specifičnih tačaka su raspoređene u specifičnom multidimenzionalnom geometrijskom prostoru, koji određuje posebna metrika. Ova metrika naziva se Prokrustova distanca i na osnovu nje nije moguće izvoditi konvencionalne statističke analize koje su neophodne kako bi se pokazala i istražila varijabilnost oblika u uzorku. Sve uobičajene statističke analize zasnivaju se na Euklidovskoj metrici koja važi u Euklidovom linearnom geometrijskom prostoru. Neophodan korak za dalje analize je projekcija Prokrustovih koordinata konfiguracija specifičnih tačaka na Euklidovski, odnosno tangentni prostor. Razlike u Prokrustovim, odnosno projektovanim koordinatama između odgovarajućih konfiguracija specifičnih tačaka predstavljaju razlike u obliku između objekata koji se porede (Zelditch et al., 2004).

Veličina centroida predstavlja geometrijsku meru veličine nekog objekta opisanog konfiguracijom specifičnih tačaka. Kao opšte prihvaćena skraćenica koristi se CS (engl. *centroid size*). Veličina centroida predstavlja meru disperzije specifičnih tačaka od središta (centroida) date konfiguracije. Što su specifične tačke udaljenije od centroida, vrednost veličine centroida je veća. Međusobno poređenje veličine centroida moguće je samo ako se porede morfološke celine opisanekonfiguracijama koje imaju isti broj i isti raspored specifičnih tačaka.

Analiza glavnih komponenti (*Principal Components Analysis, PCA*) korišćena je za vizualizaciju razlika među vrstama i populacijama hrastova. U osnovi, ova analiza omogućava prevođenje velikog broja promenljivih u manji broj promenljivih koje sumiraju veliki deo varijabilnosti sadržan u originalnim podacima. Ova metoda je korisna i primenljiva, jer se varijabilnost uzorka, odnosno njen veliki deo, može opisati sa nekoliko promenljivih. Skup novih promenljivih koje opisuju dati uzorak označava se kao skup glavnih komponenti (PC). Svaka od ovih komponenti postepeno opisuje maksimalni procenat varijabilnosti, odnosno sve manji procenat ukupne varijabilnosti uzorka. Prva komponenta u ovoj analizi (prva PC osa, PC-I) opisuje najveći deo ukupne varijabilnosti datih karaktera. Naredne komponente PC-II, PC-III, itd., sumiraju manji deo ukupne varijabilnosti u uzorku. Glavne komponente formiraju sopstveni koordinatni sistem u kome položaj svake konfiguracije u odnosu na ose

označava ocenu određenog lista. Pomenute ocene predstavljaju položaj svakog lista u novom koordinatnom sistemu. U odnosu na pojedine vrednosti koordinata, listovi se raspoređuju duž navedenih osa, tako da formiraju grupe na osnovu informacija sadržanih u Prokrustovim, projektovanim koordinatama, odnosno na osnovu sopstvenog oblika. U geometrijskoj morfometriji, PCA analiza omogućava grupisanje listova isključivo na osnovu varijabilnosti oblika (Ivanović & Kalezić, 2012).

Pored analize glavnih komponenti (PCA), za grupisanje je korišćena i kanonijska diskriminantna analiza (*Canonical Discriminant Analysis, CDA*). Pomenutom analizom dobijaju se kanonijske ose, duž kojih je moguće utvrditi razdvajanje analiziranih grupa. Svaka kanonijska osa opisuje određeni procenat razlika među grupama. Prva kanonijska osa nosi najveće razlike među srednjim vrednostima analiziranih grupa, dok je drugom kanonijskom osom opisan manji procenat razlika među grupama (Porobić, 2017). Rezultati CDA analize (Mahalanobisove distance) dalje su analizirani korišćenjem analize grozdovanja (klaster analiza). Analiza grozdovanja predstavlja grupu analiza u kojima se multivarijantna analiza predstavlja kao serija skupova u vidu stabla – dendrograma.

Promene oblika duž izdvojenih PC i kanonijskih osa grafički su prikazane u vidu TPS deformacionih mreža. TPS predstavlja idealno tanku, beskonačnu metalnu ploču (engl. *Thin Plate Spline*) (Bookstein, 1991). Matematička osnova za vizualizaciju promena oblika između dve odgovarajuće konfiguracije specifičnih tačaka proizilazi iz fizičke metafore transformacija idealno tanke, beskonačne metalne ploče. Sve promene oblika prikazuju se kao deformacione mreže, odnosno deformacije polazne ravne tanke metalne ploče. Polazna osnova je da su konfiguracije specifičnih tačaka koje se porede postavljene na idealno tankoj, beskonačnoj metalnoj ploči. Razlike projektovanih Prokrustovih koordinata konfiguracija uslovljavaju deformacije tanke metalne ploče, koja se isteže ili skraćuje, odnosno uvija tako da oslikava odgovarajuće konfiguracije specifičnih tačaka konfiguracija koje se porede. Oblik i način deformacija tanke metalne ploče isključivo zavise od postojećih razlika u konfiguracijama specifičnih tačaka. Deformacijama beskonačno idealno tanke metalne ploče moguće je vizualizovati promene oblika. Takođe, upoređivanjem deformacionih mreža moguće je lokalizovati promenu oblika lista koja u najvećoj meri utiče na uočeni obrazac grupisanja na osnovu oblika deformacije mreža.

Metoda kontura

Morfološka analiza veličine i oblika (*Morphological Analysis of Size and Shape* - MASS) korišćena je za dobijanje konture lista, koja je dalje korišćena za računanje dužine, širine, površine, odnosa visine i širine, fluktuirajuće asimetrije, zaobljenosti, cirkularnosti (odnos površine i obima) i solidnosti (odnos površine i konveksnog omotača). Ovi parametri su analizirani analizom varijanse. Variranje u obliku kontura predstavljeno je eliptičnom Furijeovom analizom (Chuanromanee et al., 2019).

Morfološka analiza veličine i oblika je integrativni softverski program za morfometrijsku analizu listova razvijen je u MATLAB-u, sa mogućnošću funkcionisanja kao nezavisna aplikacija. Analiza započinje selekcijom fotografije koja će biti analizirana i njenom kalibracijom i skaliranjem, selektovanjem pojedinačnog lista na fotografiji i njegovim prevođenjem u crno-belu boju. Softver

zatim formira dodatnu crno-belu fotografiju, koja predstavlja spoljašnjost, odnosno unutrašnjost lista, oivičenu crvenom isprekidanom linijom koja predstavlja marginu lista. Listovi koji nisu celi, kao i lisne drške, isključeni su iz analiza, kako ne bi uticali na krajnje rezultate. Na crno-belim fotografijama, softver binarizacijom izračunava vrednosti centroida i glavnih komponenti i rotira list tako da je najdužim delom u vertikalnom položaju. Nakon binarizacije i rotacije, ova nova binarna fotografija koristi se za dobijanje osnovnih pokazatelja oblika lista. Vrednosti visine i širine lista dobijene su smeštanjem rotiranog lista u ograničeni prostor gde se na osnovu unapred određene skale dobijaju željene vrednosti, dok je površina lista izračunata na osnovu broja belih piksela u okviru selekcije lista. Fluktuirajuća asimetrija (FA) je takođe izračunata, kao kvanititativna mera leve i desne asimetrije svakog analiziranog lista. Vrednosti FA = 0 ukazuju na savršeno simetričan list, dok negativne vrednosti ukazuju na iskošenja ka desnoj, a pozitivne ka levoj strani lista. Softver beleži prosečne apsolutne FA vrednosti za svaki list, dajući prosečnu (pozitivnu) meru simetrije za svaki list. Razlike u dobijenim vrednostima visine, širine, površine, odnosa visine i širine, fluktuirajuće asimetrije, zaobljenosti, cirkularnosti (odnos površine i obima) i solidnosti (odnos površine i konveksnog omotača; listovi sa većim razlikama između površine i konveksnog omotača, kao što su listovi sa dubokim režnjevima, mogu se razlikovati od kompaktnijih listova na osnovu ovog pokazatelja (Li et al., 2018)) dalje su analizirane korišćenjem multivarijantne analize varijanse (MANOVA).

Jednu od najčešće korišćenih tehnika analize oblika lista predstavljaju eliptični Furijeovi deskriptori (EFDs, syn. eliptična Furijeova analiza – *Elliptic Fourier Analysis*, *EFA*) (Kuhl & Giardina, 1982). U ovoj doktorskoj disertaciji, pored merenja dužine, širine, površine i asimetrije, binarna fotografija lista korišćena je kao početna tačka za računanje eliptičnih Furijeovih deskriptora za svaki od listova. Primenom eliptične Furijeove analize, oblik lista se analizira u domenu frekvencije a ne u prostornom domenu. Određeni broj Furijeovih harmonika (sinusoida) se izračunava na konturi lista, od kojih svaka ima samo četiri koeficijenta. Pomenuta grupa (set) koeficijenata formira Furijeov deskriptor, pri čemu veći broj harmonika daje precizniju deskripciju. Eliptični Furijeovi deskriptori mogu lako biti normalizovani da predstavljaju oblik nezavisno od orijentacije, veličine ili položaja, olakšavajući poređenje među vrstama. Jedna od prednosti ove metode je ta što se oblik može rekonstruisati iz deskriptora. Eliptična Furijeova analiza je česta metoda za poređenje sličnih objekata različite geometrije, jer Furijeovi koeficijenti generisani u ovom tipu analize ne variraju sa rotacijom, translacijom i dilatacijom zatvorenih kontura koje predstavljaju oblik objekta (Klein et al., 2017). Broj sinusoida (harmonika) u Furijeovoj analizi unosi se manuelno, pri čemu je 15 do 20 harmonika tipično dovoljno za ispitivanje listova. U ovoj doktorskoj disertaciji korišćeno je 15 harmonika. Softver zatim daje eliptičnu Furijeovu aproksimaciju krajnjih kontura i vraća koeficijente za svaku harmoniku.

Analiza među- i unutarvrsne varijabilnosti lista

Unutarvrsna varijabilnost veličine i oblika lista odabranih vrsta hrastova proučena je za svaku vrstu zasebno korišćenjem morfološke analize veličine i oblika i specifičnih tačaka. U okviru MASS analize, sprovedene su deskriptivne statističke analize dobijenih parametara (računanje srednje, minimalne i maksimalne vrednosti, opsega, standardne devijacije i koeficijenta varijacije), izračunate su korelacije među njima i sprovedena je analiza varijanse (ANOVA) sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom. Mahalanobisove distance, dobijene kanonijskom diskriminantnom analizom, korišćene su za analizu grozdovanja (klaster). Varijabilnost kontura lista vizuelno je prikazana pomoću eliptične Furijeove analize korišćenjem 20 harmonika (sinusoida).

Analiza specifičnih tačaka sprovedena je korišćenjem 13 izabranih tačaka (slika 14). Generalizovana Prokrustova analiza korišćena je za dobijanje Prokrustovih koordinata, koje su dalje proučavane analizom glavnih komponenti (za utvrđivanje razlika u obliku) i Prokrustovom analizom varijanse (Prokrustova ANOVA, za utvrđivanje razlika u veličini i obliku). Pored pomenutog, alometrijski obrasci kovarijacije između veličine i oblika lista procenjeni su dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata.

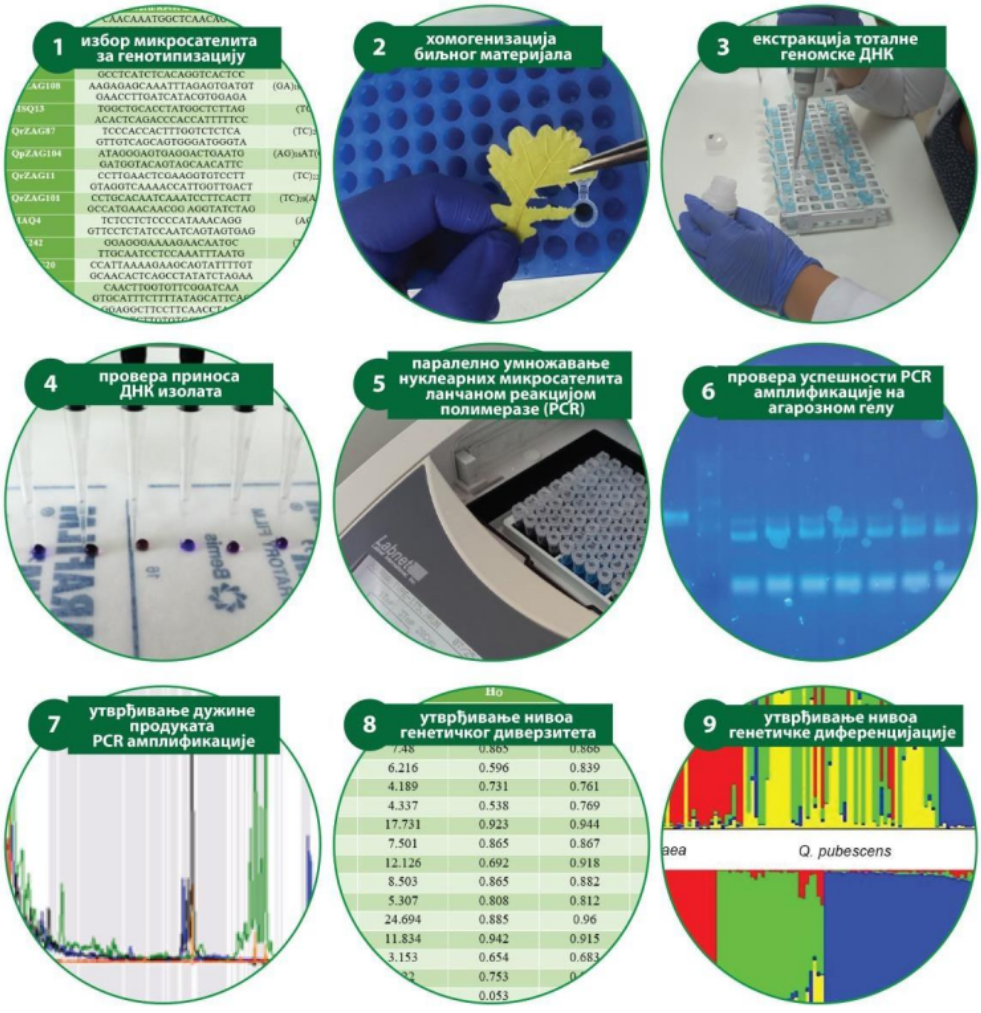
Međuvrsna varijabilnost veličine i oblika lista odabranih vrsta hrastova proučena je korišćenjem morfološke analize veličine i oblika i specifičnih tačaka. U okviru MASS analize, sprovedene su analize korelacija između dobijenih parametara i analiza varijanse sa vrstom kao grupišućom promenljivom. Rezultati analize varijanse grafički su predstavljeni za svaki parametar. Analiza specifičnih tačaka sprovedena je korišćenjem 13 izabranih tačaka (slika 14). Generalizovana Prokrustova analiza korišćena je za dobijanje Prokrustovih koordinata, koje su dalje analizirane analizom glavnih komponenti (za utvrđivanje razlika u obliku) i Prokrustovom analizom varijanse (za utvrđivanje razlika u veličini i obliku).

Vrednosti dobijene MASS analizom korišćene su za testiranje uticaja nadmorske visine, nagiba terena i ekspozicije na morfometrijske karakteristike lista. Izračunate su prosečne vrednosti MASS parametara za svaku individuu a zatim su, korišćenjem Pirsonovog koeficijenta korelacije, korelisane sa vrednostima nadmorske visine i nagiba terena. Pored tabelarnog prikaza svih korelacija, statistički značajne korelacije su predstavljene i grafički. Kategorije ekspozicije (sever, severoistok, severozapad, jug, jugoistok, jugozapad, istok, zapad) korišćene su kao grupišuća promenljiva u analizi varijanse i kanonijskoj diskriminantnoj analizi za ceo uzorak, radi utvrđivanja potencijalnih razlika između listova u zavisnosti od ekspozicije. Za Mahalanobisove distance, dobijene kanonijskom diskriminantnom analizom, određena je statistička značajnost (p vrednosti). Pored toga, za svaku kategoriju ekspozicije izračunate su korelacije među parametrima. Rezultati ovih korelacija predstavljeni su u vidu kolor mapa (*color maps*).

3.2.2. Analiza neutralne varijabilnosti

Analiza neutralne varijabilnosti hrastova sa područja PIO „Kosmaj" obavljena je u okviru istraživanja koja su realizovana kao deo projekta *«Identifikovanje, praćenje i konzervacija genofonda endemičnih, retkih i ugroženih drvenastih vrsta na području PIO „Kosmaj"»* (Šijačić-Nikolić, 2023; Šijačić-Nikolić et al. 2023).

Analiza je uključivala selekciju individua četiri vrste hrasta, sakupljanje i pripremu biljnog materijala (listova), izbor mikrosatelita za genotipizaciju, homogenizaciju biljnog materijala, ekstrakciju totalne genomske DNK, proveru prinosa DNK izolata, paralelno umnožavanje nuklearnih mikrosatelita lančanom reakcijom polimeraze (*Polymerase Chain Reaction*, PCR), proveru uspešnosti PCR amplifikacije na agaroznom gelu, utvrđivanje dužine produkata PCR amplifikacije (*scoring*), kao i utvrđivanje nivoa genetičkog diverziteta analiziranih vrsta i njihovu genetičku diferencijaciju (slika 15).



Slika 15. Osnovni koraci analize neutralne varijabilnosti

3.2.2.1. Uzorkovanje

Ukupno je selekcionisano 247 individua izabranih vrsta hrastova, od toga 65 individua medunaca, 60 individua kitnjaka, 62 individue sladuna i 60 individua cera. Korišćeni su isti uzorci selekcionisanih individua kao i za analizu adaptivne varijabilnosti, prikazani na slici 13 i u prilozima 11-14. Uzorci su sakupljeni u maju 2022. godine. Sa svake selekcionisane individue sakupljeno je oko 10 normalno razvijenih mladih listova koji su herbarizovani, a zatim stavljeni u zasebne filter kesice obeležene slovnom i numeričkom oznakom. Po pet kesica je stavljeno u veće zip kesice sa 30 do 60 g indikatorskog silika gela, radi isušivanja, koje je trajalo oko 7 dana. Silika gel je menjan redovno nakon promene boje iz narandžaste u belu, što je ukazivalo na zasićenost gela vlagom, kako bi se obezbedilo efikasno isušivanje i kako ne bi došlo do kontaminacija uzoraka gljivama. Pripremljeni i obeleženi uzorci odloženi su u zamrzivač na -20°C.

3.2.2.2. Laboratorijske analize

Dvadeset nuklearnih mikrosatelita je izabrano za genotipizaciju, od kojih se 14 pokazalo veoma informativnim i pouzdanim nakon testiranja (tabela 2). Izbor nuklearnih mikrosatelita koji su korišćeni za procenu neutralne varijabilnosti odabranih vrsta hrastova sa područja PIO „Kosmaj" izvršen je na osnovu podataka o strukturi repetitivnih motiva lokusa (perfektni mikrosateliti, mikrosateliti sa kompozitnim repetitivnim motivom i mikrosateliti sa repetitivnim motivom u koji je umetnut niz nukleotida), broja alela, PIK vrednosti i/ili dobijene heterozigotnosti, kao i na osnovu informacija o odsustvu multiplih produkata amplifikacije, nultih alela i dužinske homoplazije dostupnih u 327 naučnih publikacija (npr. Gugerli et al. 2007; Muir & Schloetterer 2005; Curtu et al. 2007; Dering & Chybicki 2012; Burczyk et al. 2018). Takođe, na osnovu pristupnih brojeva sekvenci lokusa navedenih u literaturi preuzeti su FASTA fajlovi sa primarnim redosledom nukleotida koji su deponovani u javnoj banci gena GenBank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/), proverena je struktura repetitivnih motiva markera, kao i mesta vezivanja prajmera. Kao rezultat pomenute opsežne analize literaturnih podataka odabrano je 20 nuklearnih mikrosatelita koju su se u brojnim ranijim istraživanjima pokazali kao veoma informativni i pouzdani. Kod dva lokusa (QpZAG36 i QpZAG58) uočene su mutacije u mestima vezivanja prajmera, zbog čega su za PCR amplifikaciju ovih lokusa korišćeni redizajnirani direktni i reverzni prajmeri (Muir & Schloetterer, 2005).

Tabela 2. Nuklearni mikrosateliti korišćeni za procenu neutralne varijabilnostihrastova

Lokus	Sekvence prajmera (5'-3') (Forward/Reverse Primers)	Motiv ponovka	Dužina fr. (bp)	Referenca
PIE239	CAACAAATGGCTCAACAGTG CCCATTTGGTAGCAAAGAGTC	$(AT)_{12}$	70-83	Durand et al., 2010
FIR004	TCTCTCTCAGGGCAGCTTCT AACCAAACTCAGATCCAGATTCA	$(CT)_{18}$	123-179	Durand et al., 2010
QrZAG90	GGAAGATAGTACC AGCTTGGTGAAT GCCTCATCTCACAGGTCACTCC	(GA)34	220-244	Kampfer et al., 1998
QrZAG108	AAGAGAGCAAATTTAGAGTGATGT GAACCTTGATCATACGTGGAGA	$(GA)_{19}(GGGA)_3$	80-108	Kampfer et al., 1998
MSQ13	TGGCTGCACCTATGGCTCTTAG ACACTCAGACCCACCATTTTTCC	(TC)	191-221	Dow et al., 1995
QrZAG87	TCCCACCACTTTGGTCTCTCA GTTGTCAGCAGTGGGATGGGTA	$(TC)_{20}$	110-131	Kampfer et al., 1998
QpZAG104	ATAGGGAGTGAGGACTGAATG GATGGTACAGTAGCAACATTC	$(AG)_{16}AT(GA)_3$	176-196	Steinkellner et al., 1997
QrZAG11	CCTTGAACTCGAAGGTGTCCTT GTAGGTCAAAACCATTGGTTGACT	$(TC)_{22}$	238-267	Kampfer et al., 1998
QrZAG101	CCTGCACAATCAAATCCTTCACTT GCCATGAACAACGG AGGTATCTAG	$(TC)_{20}(AC)_{15}$	136-160	Kampfer et al., 1998
MAQ4	TCTCCTCTCCCCATAAACAGG GTTCCTCTATCCAATCAGTAGTGAG	(AG)	203-227	Dow et al., 1995
PIE242	GGAGGGAAAAGAACAATGC TTGCAATCCTCCAAATTTAATG	$(TA)_{10}$	102-128	Durand et al., 2010
QrZAG20	9CATTAAAAGAAGCAGTATTTTGT GCAACACTCAGCCTATATCTAGAA	$(TC)_{18}$	160-200	Kampfer et al., 1998
QrZAG7	9CAACTTGGTGTTCGGATCAA GTGCATTTCTTTTATAGCATTCAC	$(TC)_{17}$	115-153	Kampfer et al., 1998
QpZAG110	9GAGGCTTCCTTCAACCTACT GATCTCTTGTGTGCTGTATTT	$(AG)_{15}$	206-262	Steinkellner et al., 1997

Uzorci su analizirani u Laboratoriji za biotehnologiju Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Za svaku selekcionisanu individuu, do 20 mg osušenog biljnog materijala (list) je homogenizovano pomoću aparata *TissueLyser* II (Qiagen, Valencia, CA, USA) i korišćeno za ekstrakciju totalne genomske DNK pomoću komercijalnog kita *peqGOLD Plant DNA Mini Kit* (PEQLAB). Količina i čistoća genomske DNK određena je korišćenjem aparata *NanoVue* (GE Healthcare Europe, Freiburg, Germany), pri čemu su DNK rastvori razređeni na radne koncentracije od 50 ng/μl.

Homogenizacija biljnog materijala obuhvatala je odmeravanje po oko 20 mg osušenog biljnog tkiva (lisna ploča bez lisnih nerava), za svaku od selekcionisanih individua i njegovu homogenizaciju pomoću aparata *TissueLyser* II (QIAGEN). Pomenuta procedura je obuhvatila nekoliko koraka: (1) u sterilnu plastičnu mikroepruvetu (*Eppendorf tubes*) zapremine 2 ml stavljeno je oko 20 mg suvog lisnog tkiva, odmerenog pomoću analitičke vage (RADWAG Wagl Elektroniczne, Poland); (2) zatim je u svaku mikroepruvetu ubačena po jedna sterilna metalna kuglica 4 mm u prečniku; (3) mikroepruvete su prebačene u adaptere sa otvorima za tube, a zatim stavljene u zamrzivač na 30 minuta; (4) adapteri su zatim postavljeni u metalne nosače držača aparata *TissueLyser* II, a homogenizacija je izvršena na 30 Hz u trajanju od 2 minuta; pomenuti

korak je dva puta ponovljen, uz okretanje adaptera. Navedenim postupkom dobijen je homogenizovan biljni materijal koji je odložen u zamrzivač do trenutka ekstrakcije totalne genomske DNK.

Ekstrakcija totalne genomske DNK obavljena je korišćenjem komercijalnog paketa za ekstrakciju biljne DNK *peqGOLD Plant DNA Mini Kit* (PEQLAB), prema protokolu proizvođača. Pre početka ekstrakcije izvršena je priprema pufera za ispiranje (*Wash Buffer*), dodavanjem određene količine 100% etanola. Takođe, u svaki uzorak sterilnom špatulom dodata je vrlo mala količina aktivnog uglja, sa ciljem apsorpcije sekundarnih metabolita koji mogu da interferiraju sa komponentama koje se koriste tokom ekstrakcije i enzimske reakcije sa polimerazom.

Protokol za ekstrakciju DNK obuhvatao je sledeće korake:

(1) u svaku mikroepruvetu sa zamrznutim usitnjenim biljnim materijalom je dodato po 600 µl ekstrakcionog pufera *Lysis Buffer SP1* i 5 µl *RNase* A (20 mg/ml); mikroepruvete su kratko promućkane na aparatu *vortex* (oko 10 sekundi) i postavljene u termoblok koji je prethodno zagrejan na 65°S; biljni materijal mešan je inverzijom na svakih 10 min, a inkubacija na 65°S je trajala 60 min;

(2) nakon inkubacije je u svaki uzorak dodato po 210 µl pufera *Lysis Buffer SP2*; mikroepruvete su kratko promućkane na aparatu *vortex* (5 sekundi) i stavljene u zamrzivač u trajanju od 5 min; mikroepruvete sa biljnim materijalom i puferom su centrifugirane 10 min na brzini od 12.500 g;

(3) nakon centrifugiranja, sva količina supernatanta (ssa 700 µl) prebačena je u tube za sakupljanje koje imaju prefiltere; tako pripremljene tube sa supernatantom centrifugirane su 1 min na 10.000 g;

(4) nakon centrifugiranja odbačeni su prefilteri a u kolekcione tube sa tečnom fazom je dodato po 1,5 volumena *SR3* pufera;

(5) oko 650 µl dobijenog rastvora preneseno je u tube sa filterom za vezivanje koje su postavljene u kolekcione tube;

(6) tube su centrifugirane 1 min na maksimalnoj brzini;

(7) iz kolekcionih tuba su izvađeni filteri sa vezanom DNK i smešteni u nove kolekcione tube, a tečni ostatak je otklonjen;

(8) koraci 5, 6 i 7 su ponovljeni sa ostatkom DNK rastvora koji je prebačen u tube sa filterima sa vezanom DNK;

(9) filteri sa vezanom DNK su postavljeni u nove kolekcione tube, i u svaku tubu je dodato po 650 µl 80% etanola; tube su centrifugirane 1 min na 10.000 x g; nakon centrifugiranja tečni ostatak je odbačen;

(10) korak 9 je ponovljen;

(11) filteri sa vezanom DNK u kolekcionim tubama bez tečnog ostatka su centrifugirani još jednom u trajanju od 2 min na 10.000 g kako bi se prosušila membrana filtera;

(12) filteri sa vezanom DNK su prebačeni u tube od 1,5 ml;

(13) u svaku tubu je dodato po 50 µl prethodno zagrejanog (65°S) eluicionog pufera (*Elution Buffer*) tube su ostavljene otvorene na sobnoj temperaturi u trajanju od 2 min; tube su centrifugirane 1 min na 6.000 x g;

(14) korak 13 je ponovljen.

Nakon ekstrakcije DNK izolati su skladišteni u mikroepruvete od 1,5 ml sa silikonskim zatvaračem i stavljeni u frižider (+4°S).

Prinos i kvalitet DNK izolata proveren je elektroforezom na 1% agaroznom gelu. Agarozni gel pripremljen je zagrevanjem do ključanja 1 g agaroze rastvorene u 100 ml 1 × TBE (*Tris-Borate-EDTA*) pufera. Bistri rastvor je izliven u kalup za elektroforezu u koji su postavljeni češljevi, i ostavljen da se ohladi i stvrdne. Zatim je u kadicu za elektroforezu (napunjenu 1 × TBE puferom) smešten gel u kalupu, a češljevi koji su služili za formiranje bunarića u gelu su izvađeni. Po 5 µl totalne genomske DNK je pomešano sa po 5 µl boje *Midory green* (Nippon Genetics Europe GmbH) na parafilmu za svaki uzorak posebno, radi vizualizacije pod UV svetlom. DNK sa bojom je stavljena u bunariće na gelu, posle čega je kroz gel propuštena struja (10 mA). DNK je vizualizovana pod UV svetlom. Prisustvo jasnih traka na gelu je ukazalo na to da je prinos i kvalitet DNK dobar kod svih izolata i da DNK može biti korišćena za dalji rad. S obzirom da je svih 247 DNK izolata imalo zadovoljavajući prinos i kvalitet, alikvotirano je po 20 µl totalne genomske DNK u stripove koji se sastoje od 8 povezanih tubica sa kapicama zapremine 0,2 ml.

Za paralelnu amplifikaciju korišćen je komercijalni kit *Type-it Microsatellite PCR Kit* (QIAGEN). Mikrosatelitni lokusi su za potrebe paralelne genotipizacije grupisani u dva miksa: OM1 – PIE239, FIR004, QrZAG90, QrZAG108, MSQ13, GOT004, QrZAG87, QpZAG104, QrZAG11, QrZAG103, QrZAG102, i OM2 – QpZAG36, QrZAG101, MAQ4, PIE242, QrZAG20, QpZAG1/2, QpZAG58, QrZAG7, QpZAG110. Direktni prajmeri (F) svakog od prajmera svih selektovanih lokusa obeleženi su jednom od četiri fluorescentne boje iz seta *Dye set G5* (DS-33, Applied Biosystems, USA).

Uspešnost PCR reakcija procenjena je separacijom produkata PCR amplifikacije procesom elektroforeze u 2% agaroznom gelu. Za procenu dužine PCR produkata upotrebljena je komercijalna lestvica *O'GeneRuler™ 50 bp DNA Ladder* (Thermo Scientific™). Za pripremu agaroznog gela 2 grama agaroze rastvorene u 100 ml 1 × TBE (*Tris-Borate-EDTA*) pufera zagrejano je do ključanja i izliveno u kalup za elektroforezu (sa češljevima). Nakon što se ohladio i stvrdnuo, gel u kalupu je postavljen u kadicu za elektroforezu napunjenu 1 × TBE puferom. Češljevi, koji su služili za formiranje pravljenje u gelu, su izvađeni. Nakon mešanja po 5 µl PCR produkata sa bojom *Midory Green Direct* (Nippon Genetics Europe GmbH), smeša je nanošena u bunariće na agaroznom gelu. U bunarić u sredini gela je uneta lestvica. Produkti amplifikacije su vizualizovani pod UV svetlom. Veći broj manjih traka je opservirano u okviru svake trake, što je ukazalo na uspešnu amplifikaciju lokusa u svakoj PCR reakciji. Posle provere, produkti amplifikacije su preneseni u plejtove. Dužine produkata PCR amplifikacije određene su komercijalno u Centru za forenzičku i primenjenu molekularnu genetiku pri Biološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Dužine produkata PCR amplifikacije procenjene su korišćenjem programskog paketa *GeneMapper* (Applied Biosystems Inc., Foster City, USA) i lestvice *GeneScanTM-600LIZTM Size Standard* (Applied Biosystems).

3.2.2.3. Statističke analize

Molekularni podaci dobijeni umnožavanjem nuklearnih mikrosatelita kod četiri vrste hrastova obrađeni su primenom standardnih populaciono-genetičkih paketa: GenAlEx 6.5 (Peakall & Smouse 2012), HP-Rare 1.0 (Kalinowski, 2005), NeEstimator

(Do et al., 2014) i STRUCTURE 2.3.4. (Pritchard et al., 2000). S obzirom na to da je kod cera broj markera koji su uspešno umnoženi (5) bio znatno manji u odnosu na ostale vrste hrastova (14), kao i da je na pojedinim lokusima uočeno neslaganje dužina alela kod cera s jedne strane, i kitnjaka, medunca i sladuna sa druge strane, odnosno, tzv. smicanje dužina alela za po jedan bazni par, dalje analize obavljene su zasebno za cer, i zasebno za ostale tri vrste hrastova.

Standardni parametri genetičkog diverziteta – broj alela (A), broj privatnih alela (PA), prosečan broj alela (Na), efektivni broj alela (Ne), dobijena heterozigotnost (H_O), očekivana heterozigotnost (H_E) i koeficijent inbridinga (F) utvrđeni su korišćenjem programskog paketa GenAlEx 6.5. Efektivna veličina populacije (Ne) utvrđena je primenom programskog paketa NeEstimator uz odbacivanje alela čija je frekvenca $\leq$ 0,02, a bogatstvo alela primenom programskog paketa HP-Rare 1.0.

Genetička struktura ispitivanih populacija četiri vrste hrasta utvrđena je primenom dva pristupa:

(1) Korišćenjem dobijenih frekvenci alela i genotipova generisanih primenom 14 molekularnih markera koje su poslužile za utvrđivanje parametara genetičke diferencijacije izražene preko F_{ST} parametra, kao i protoka gena (Nm, prema formuli $Nm = [(1 / F_{ST}) - 1] / 4$) i analizu glavnih koordinata (PCoA), korišćenjem programskog paketa GenAlEx 6.5;

(2) Bajesova metoda implementirana u programski paket STRUCTURE 2.3.4., koja je poslužila za determinisanje optimalnog broja genetičkih grupa (K) primenom ΔK Evanno-vog modela (Evanno et al., 2005), kao i za utvrđivanje potencijalne substrukture populacija.

Genetička diferencijacija populacija kitnjaka, medunca i sladuna procenjena je i korišćenjem Monte Karlo Markov Lanac (MCMC) simulacija, putem Bajesove metode grupisanja na osnovu različitih modela srodnosti individua i modela frekvenci alela. Bajesova metoda implementirana u programski paket STRUCTURE 2.3.4. korišćena je za utvrđivanje optimalnog broja genetičkih grupa kod ispitivanih populacija hrastova. Korišćeni su sledeći zadati parametri: MCMC predanaliza 700.000 iteracija, MCMC analiza 700.000 iteracija, model korelisanih (zavisnih) frekvenci alela i srodnost individua po modelu admiksije. Broj pretpostavljenih genetičkih grupa iznosio je K = 1-6, a broj ponavljanja analiza za svaku grupu iznosio je 10.

STRUCTURE analiza nije obavljena sa ispitivanom populacijom cera zbog male rezolucije koja se očekuje kod seta podataka zasnovanih na pet nuklearnih mikrosatelita. Međutim, obavljena je PCoA analiza, u kojoj su korišćene genetičke distance između pojedinačnih individua ove vrste.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANjA

4.1. ADAPTIVNA VARIJABILNOST

Rezulatati analize adaptivne varijabilnosti, izvršene na četiri autohtone vrste hrasta sa područja PIO „Kosmaj", predstavljeni su na unutar- i međuvrsnom nivou. Pored toga, predstavljeni su rezultati veze morfologije lista i karakteristika staništa dobijeni korišćenjem digitalnog modela terena.

4.1.1. Unutarvrsna varijabilnost

4.1.1.1. Cer

Deskriptivne statističke analize za dužinu, širinu, površinu, odnos dužina/širina, fluktuirajuću asimetriju, zaobljenost, cirkularnost i solidnost lista cera prikazane su u tabeli 3. Najveći koeficijent varijacije zabeležen je za fluktuirajuću asimetriju, ukazujući da je ovaj parametar najviše varirao u uzorku (od vrednosti 0 koja ukazuje na potpuno simetrične listove, do vrednosti od 0,57 koja ukazuje na značajne razlike između leve i desne strane lista). Parametar koji se pokazao najstabilnijim (najmanji koeficijent varijacije) bila je solidnost.

Tabela 3. Deskriptivni statistički pokazatelji osnovnih parametara lista cera

	Srednja vrednost	Minimum	Maksimum	Opseg	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije
Dužina (cm)	11,00	6,67	17,26	10,58	1,96	17,83
Širina (cm)	5,23	2,64	8,60	5,96	1,09	20,80
Površina (cm^2)	36,89	11,58	85,35	73,78	13,14	35,63
Odnos dužina/širina	2,13	1,42	2,97	1,55	0,27	12,82
Fluktuirajuća asimetrija	0,12	0,00	0,57	0,57	0,11	98,36
Zaobljenost	0,38	0,24	0,54	0,30	0,05	13,02
Cirkularnost	0,44	0,19	0,68	0,48	0,08	17,54
Solidnost	0,88	0,78	0,95	0,17	0,03	3,09

Korelaciona matrica dobijena je korišćenjem Pirsonovih koeficijenata korelacije među dobijenim parametrima. Statistički značajne pozitivne korelacije prikazane su plavom bojom u tabeli 4, dok su statistički značajne negativne korelacije prikazane crvenom bojom. Uočeno je da većina parametara pokazuje značajne korelacije sa

drugim parametrima, osim fluktuirajuće asimetrije, koja je pokazala statističkiznačajne negativne korelacije samo sa cirkularnošću i solidnošću.

Tabela 4. Korelacije između parametara lista cera

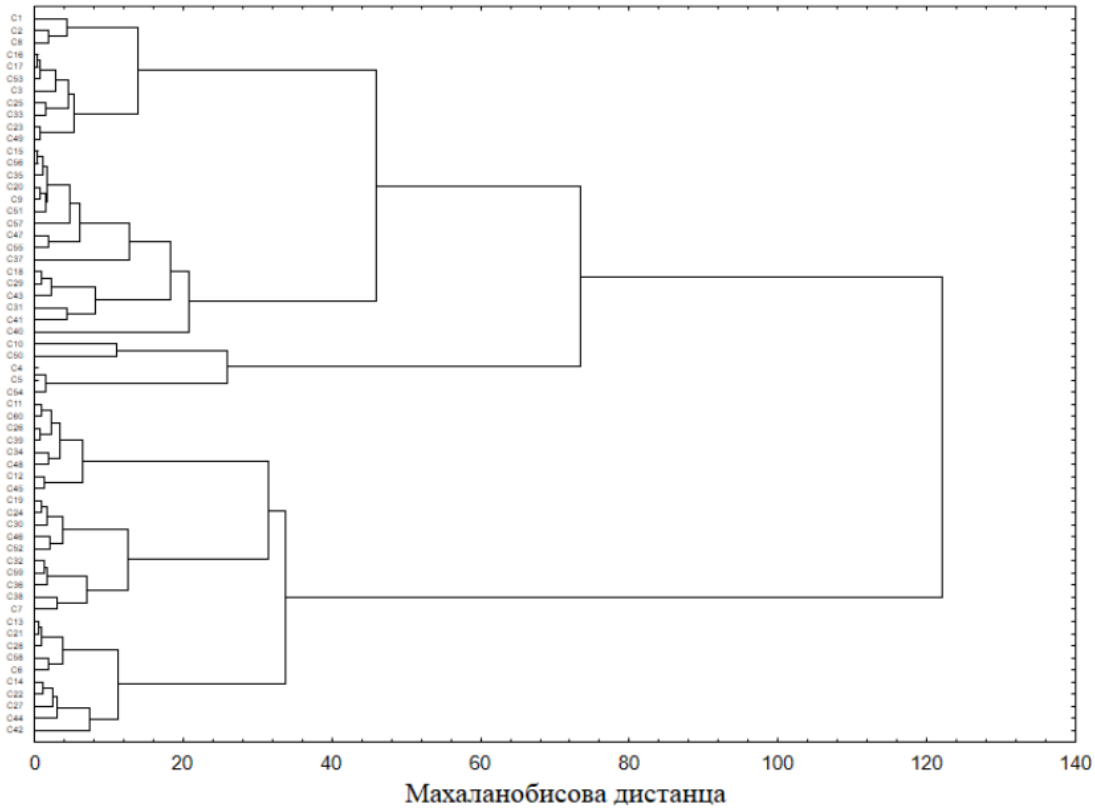
	Dužina (cm)	Širina (cm)	Površina (cm^2)	Odnos dužina/širina	Fluktuirajuća asimetrija	Zaobljenost	Cirkularnost	Solidnost
Dužina (cm)	*	0,80	0,93	0,08	0,00	-0,16	-0,30	-0,20
Širina (cm)	0,80	*	0,93	-0,52	0,04	0,38	-0,15	-0,17
Površina (cm^2)	0,93	0,93	*	-0,22	-0,01	0,18	-0,15	-0,08
Odnos dužina/širina	0,08	-0,52	-0,22	*	-0,05	-0,87	-0,21	-0,01
Fluktuirajuća asimetrija	0,00	0,04	-0,01	-0,05	*	-0,01	-0,16	-0,16
Zaobljenost	-0,16	0,38	0,18	-0,87	-0,01	*	0,45	0,33
Cirkularnost	-0,30	-0,15	-0,15	-0,21	-0,16	0,45	*	0,82
Solidnost	-0,20	-0,17	-0,08	-0,01	-0,16	0,33	0,82	*

Analiza varijanse pokazala postojanje statistički značajnog efekta selekcionisane individue na parametre lista cera (Wilks' $\lambda = 0{,}03$, $F = 4{,}90$, $p < 0{,}01$). Statistički značajne razlike bile su prisutne između svih dobijenih parametara (tabela5).

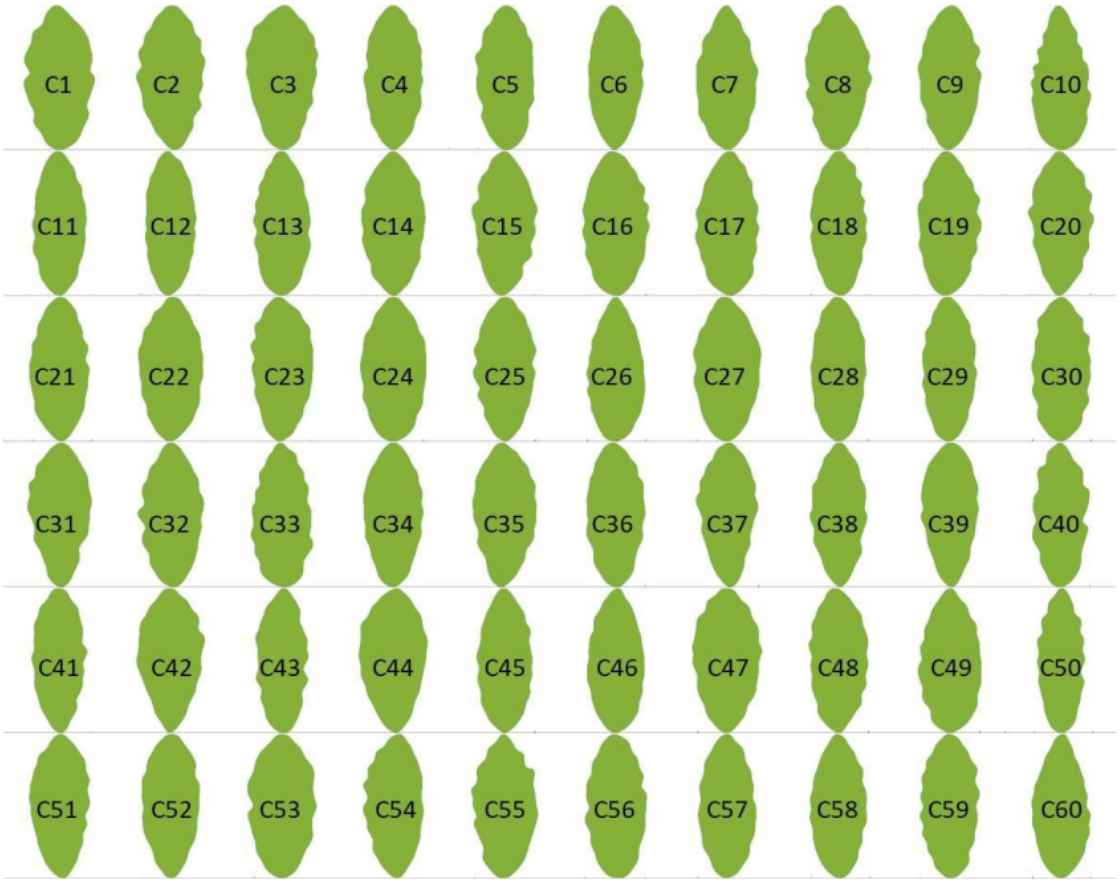
Tabela 5. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista cera sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom

Parametar	F	p
Dužina (cm)	4,89	< 0,01
Širina (cm)	5,68	< 0,01
Površina (cm^2)	4,43	< 0,01
Odnos dužina/širina	5,54	< 0,01
Fluktuirajuća asimetrija	1,45	0,02
Zaobljenost	6,11	< 0,01
Cirkularnost	14,61	< 0,01
Solidnost	14,66	< 0,01

Analiza grozdovanja (klaster) rezultovala je formiranjem dendrograma koji ilustruje odnos među individuama cera na osnovu parametara lista (slika 16), dok je eliptična Furijeova analiza rezultovala dobijanjem prosečnih kontura lista za svaku individuu (slika 17).

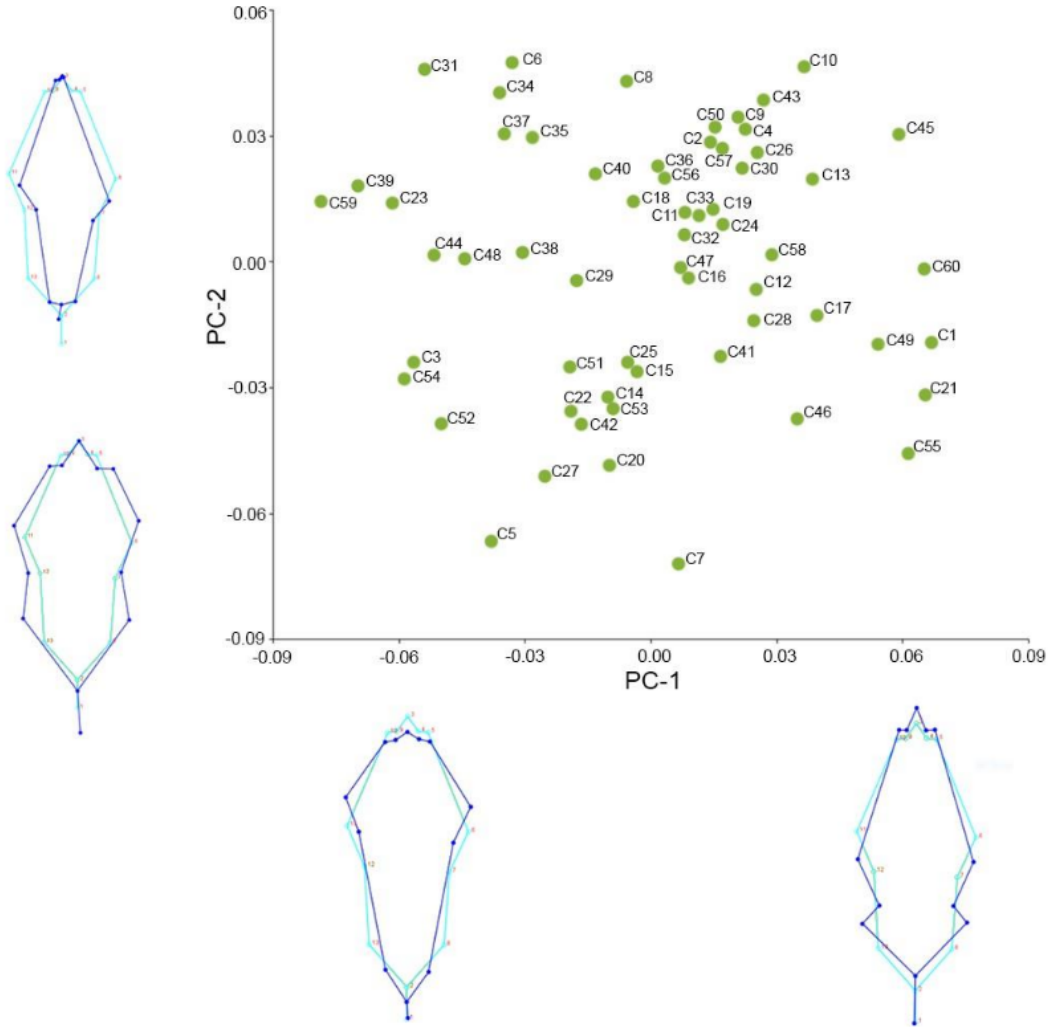


Slika 16. Dendrogram selekcionisanih individua cera dobijen analizom grozdovanja naosnovu parametara lista



Slika 17. Prosečne konture lista selekcionisanih individua cera dobijene eliptičnom Furijeovom analizom

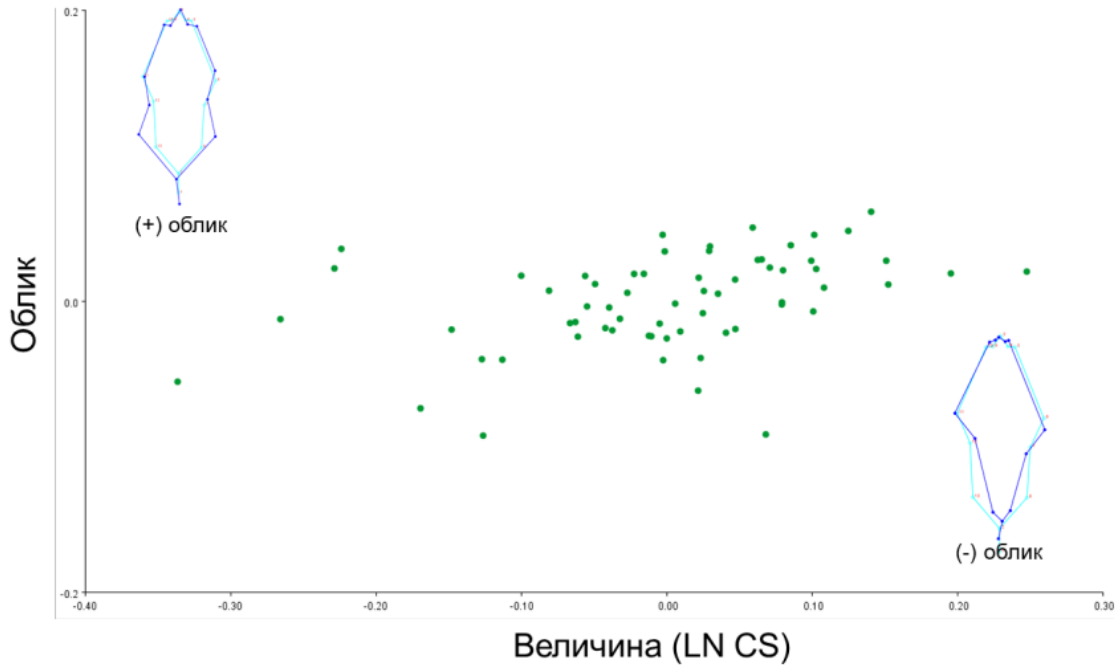
Specifične tačke analizirane su analizom glavnih komponenti (PCA) koja je pokazala da su prve četiri ose opisale 77,49% varijabilnosti (PC-1: 33,59%; PC-2: 22,63%, PC-3: 12,07%, PC-4: 8,20%). Ordinacija duž prve dve PC ose pokazala je odvajanje selekcionisanih individua cera na osnovu variranja oblika lista (slika 18).



Slika 18. Ordinacija selekcionisanih individua cera duž prve (PC-1) i druge (PC-2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Prokrustova analiza varijanse pokazala je statistički značajan efekat selekcionisane individue cera i na veličinu i na oblik lista (veličina centroida: $F = 4{,}09$, $p < 0{,}01$; oblik: $F = 4{,}38$, $p < 0{,}01$).

Dvoblokovska analiza parcijalnih najmanjih kvadrata kod cera (slika 19) pokazala je da selekcionisane individue koje imaju veću veličinu lista pokazuju tendenciju posedovanja šireg donjeg dela lisne ploče, zašiljenijeg vršnog dela lisne ploče i duže lisne drške.



Slika 19. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizomparcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika lista cera (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

4.1.1.2. Kitnjak

Deskriptivne statističke analize za dužinu, širinu, površinu, odnos dužina/širina, fluktuirajuću asimetriju, zaobljenost, cirkularnost i solidnost lista kitnjaka prikazane su u tabeli 6. Najveći koeficijent varijacije zabeležen je za fluktuirajuću asimetriju, ukazujući da ovaj je parametar najviše varirao u uzorku (od vrednosti 0, koja ukazuje na potpuno simetrične listove, do vrednosti od čak 0,81, koja ukazuje na značajne razlike između leve i desne strane lista). Parametar koji se pokazao najstabilnijim (najmanji koeficijent varijacije) bila je solidnost.

Tabela 6. Deskriptivni statistički pokazatelji osnovnih parametara lista kitnjaka

	Srednja vrednost	Minimum	Maksimum	Opseg	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije
Dužina (cm)	10,47	6,46	17,51	11,05	1,87	17,87
Širina (cm)	6,62	3,58	12,97	9,39	1,40	21,12
Površina (cm^2)	43,46	15,87	123,96	108,09	15,77	36,28
Odnos dužina/širina	1,61	1,03	2,37	1,34	0,23	14,18
Fluktuirajuća asimetrija	0,09	0,00	0,81	0,81	0,11	111,71
Zaobljenost	0,50	0,31	0,80	0,49	0,08	15,57
Cirkularnost	0,42	0,22	0,69	0,47	0,09	21,70
Solidnost	0,87	0,77	0,94	0,17	0,03	3,37

Korelaciona matrica dobijena je korišćenjem Pirsonovih koeficijenata korelacije među dobijenim parametrima. Statistički značajne pozitivne korelacije prikazane su plavom bojom u tabeli 7, dok su statistički značajne negativne korelacije prikazane crvenom bojom. Uočeno je da je većina parametara pokazala značajne korelacije sa drugim parametrima, osim fluktuirajuće asimetrije koja je pokazala statistički značajne negativne korelacije samo sa odnosom dužina/širina i solidnošću i pozitivnu korelaciju sa zaobljenošću.

Tabela 7. Korelacije između parametara lista kitnjaka

	Dužina (cm)	Širina (cm)	Površina (cm^2)	Odnos dužina/širina	Fluktuirajuća asimetrija	Zaobljenost	Cirkularnost	Solidnost
Dužina (cm)	*	0,75	0,90	0,14	-0,06	-0,22	-0,37	-0,20
Širina (cm)	0,75	*	0,93	-0,54	0,04	0,42	-0,35	-0,21
Površina (cm^2)	0,90	0,93	*	-0,25	-0,02	0,19	-0,29	-0,10
Odnos dužina/širina	0,14	-0,54	-0,25	*	-0,14	-0,89	0,07	0,08
Fluktuirajuća asimetrija	-0,06	0,04	-0,02	-0,14	*	0,10	-0,03	-0,10
Zaobljenost	-0,22	0,42	0,19	-0,89	0,10	*	0,17	0,22
Cirkularnost	-0,37	-0,35	-0,29	0,07	-0,03	0,17	*	0,78
Solidnost	-0,20	-0,21	-0,10	0,08	-0,10	0,22	0,78	*

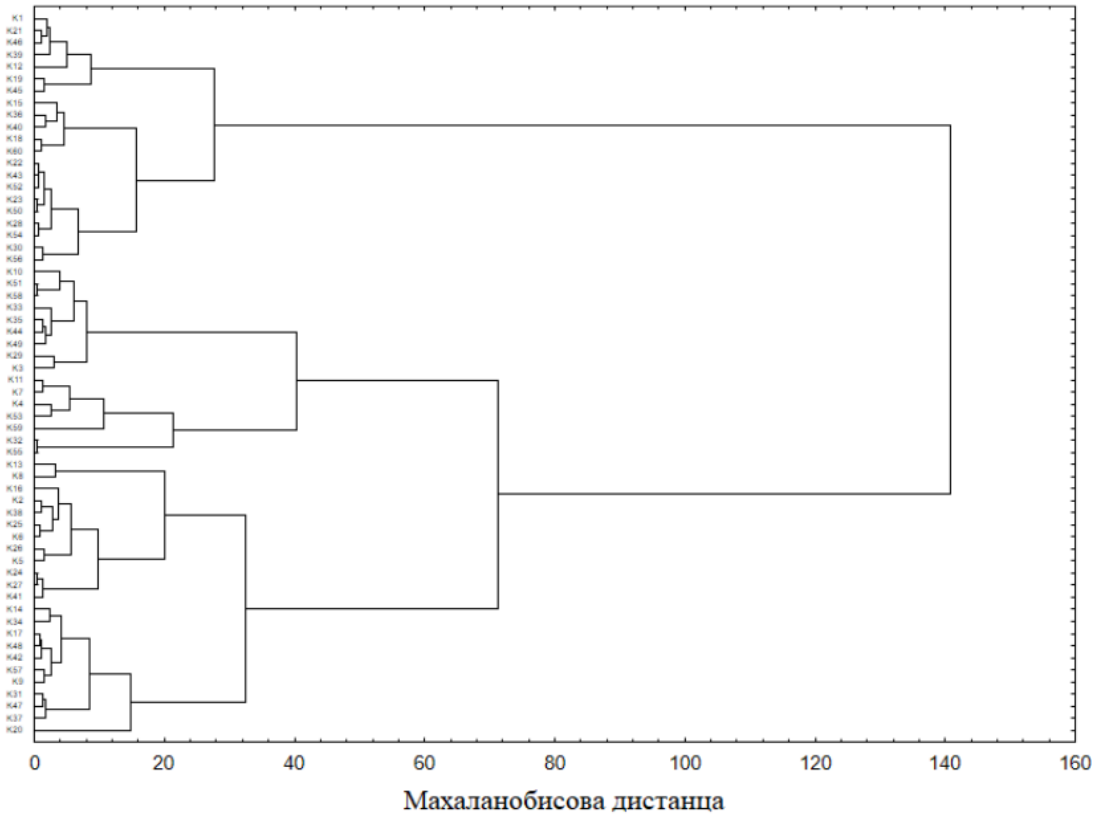
Analiza varijanse pokazala je postojanje statistički značajnog efekta selekcionisane individue na parametre lista kitnjaka (Wilks' $\lambda = 0,03$, $F = 4,70$, $p <$

0,01). Statistički značajne razlike bile su prisutne između svih dobijenih parametara,osim fluktuirajuće asimetrije (tabela 8).

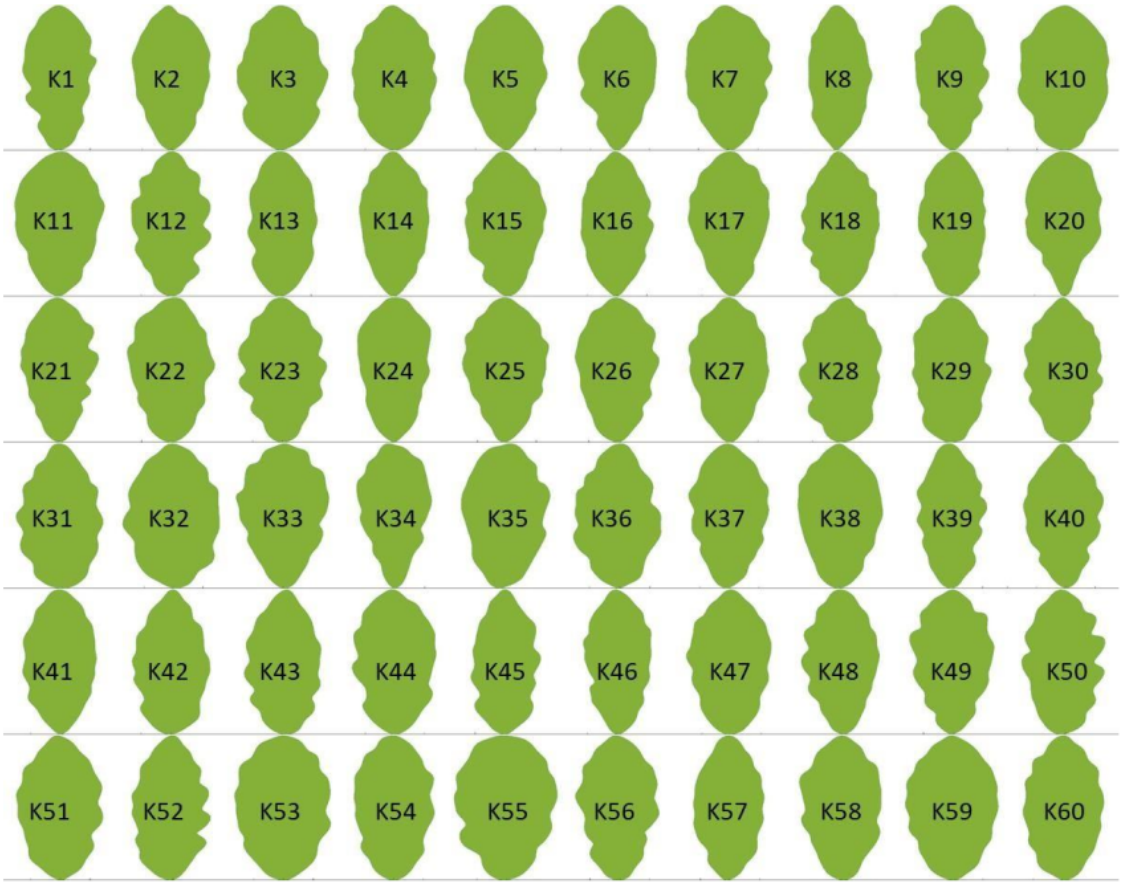
Tabela 8. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista kitnjaka sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom

Parametar	F	p
Dužina (cm)	3,03	< 0,01
Širina (cm)	3,05	< 0,01
Površina (cm^2)	2,50	< 0,01
Odnos dužina/širina	6,37	< 0,01
Fluktuirajuća asimetrija	0,71	0,95
Zaobljenost	8,58	< 0,01
Cirkularnost	14,49	< 0,01
Solidnost	11,64	< 0,01

Analiza grozdovanja (klaster) rezultovala je formiranjem dendrograma koji ilustruje odnos među individuama kitnjaka na osnovu parametara lista (slika 20), dok je eliptična Furijeova analiza rezultovala dobijanjem prosečnih kontura lista za svaku individuu (slika 21).

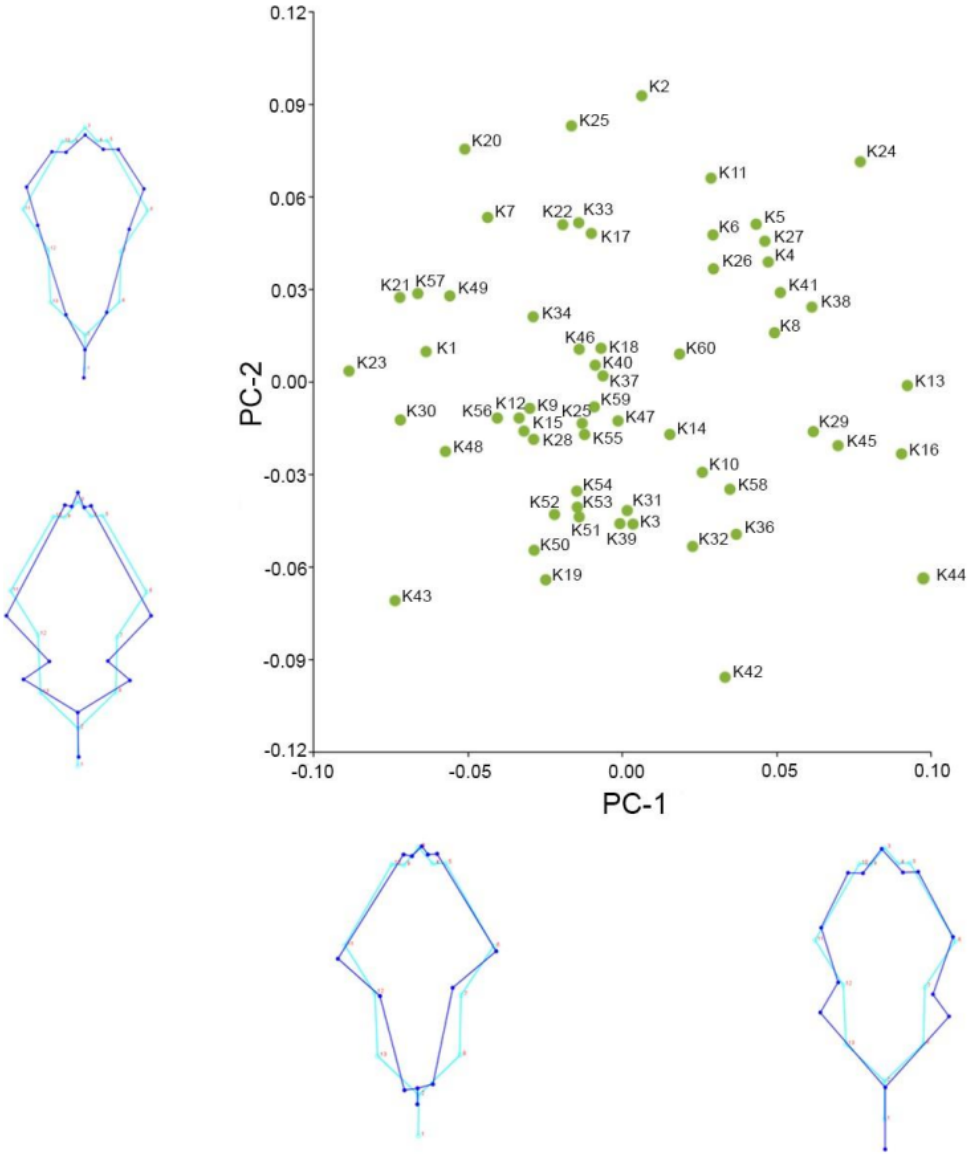


Slika 20. Dendrogram selekcionisanih individua kitnjaka dobijen analizom grozdovanja na osnovu parametara lista



Slika 21. Prosečne konture lista selekcionisanih individua kitnjaka dobijeneeliptičnom Furijeovom analizom

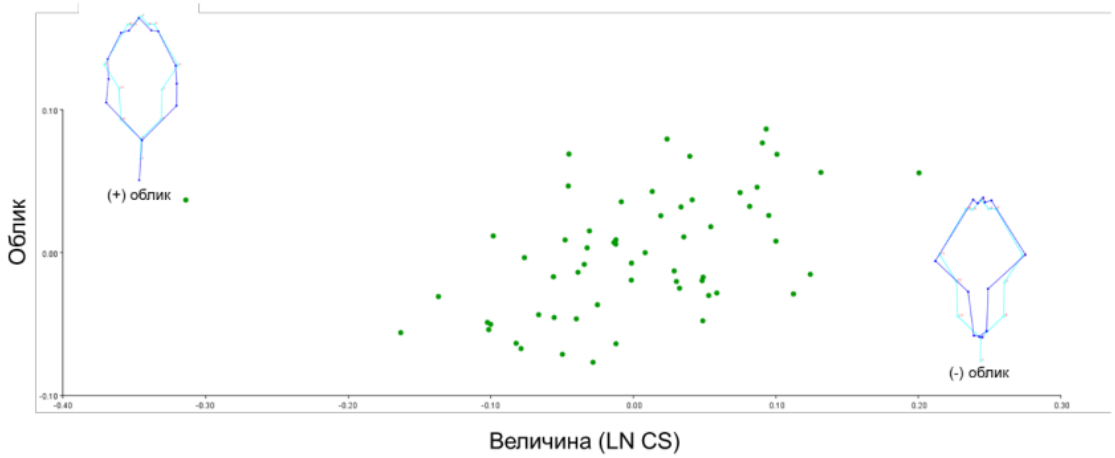
Specifične tačke analizirane su analizom glavnih komponenti (PCA) koja je pokazala da su prve četiri ose opisale 79,85% varijabilnosti (PC-1: 29,25%; PC-2: 25,94%, PC-3: 13,18%, PC-4: 11,48%). Ordinacija prve dve PC ose pokazala je odvajanje selekcionisanih individua kitnjaka na osnovu variranja oblika lista (slika 22).



Slika 22. Ordinacija selekcionisanih individua kitnjaka duž prve (PC-1) i druge (PC- 2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Prokrustova analiza varijanse pokazala je statistički značajan efekat selekcionisane individue kitnjaka i na veličinu i na oblik lista (veličina centroida: $F = 2{,}83$, $p < 0{,}01$; oblik: $F = 4{,}99$, $p < 0{,}01$).

Dvoblokovska analiza parcijalnih najmanjih kvadrata kod kitnjaka (slika 23) pokazala je da selekcionisane individue koje imaju veću veličinu lista pokazuju tendenciju posedovanja šire lisne ploče i duže lisne drške.



Slika 23. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika lista kitnjaka (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

4.1.1.3. Medunac

Deskriptivne statističke analize za dužinu, širinu, površinu, odnos dužina/širina, fluktuirajuću asimetriju, zaobljenost, cirkularnost i solidnost lista medunca prikazane su u tabeli 9. Najveći koeficijent varijacije zabeležen je za fluktuirajuću asimetriju, ukazujući da je ovaj parametar najviše varirao u uzorku (od vrednosti 0 koja ukazuje na potpuno simetrične listove, do vrednosti od čak 0,96 koja ukazuje na značajne razlike između leve i desne strane lista). Parametar koji se pokazao najstabilnijim (najmanji koeficijent varijacije) bila je solidnost.

Tabela 9. Deskriptivni statistički pokazatelji osnovnih parametara lista medunca

	Srednja vrednost	Minimum	Maksimum	Opseg	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije
Dužina (cm)	8,69	4,69	13,63	8,94	1,40	16,10
Širina (cm)	5,90	2,99	11,99	9,00	1,20	20,39
Površina (cm^2)	32,67	12,08	105,79	93,71	10,96	33,56
Odnos dužina/širina	1,50	0,94	2,39	1,45	0,23	15,38
Fluktuirajuća asimetrija	0,11	0,00	0,96	0,96	0,13	114,72
Zaobljenost	0,54	0,31	0,89	0,58	0,09	16,49
Cirkularnost	0,45	0,21	0,89	0,68	0,11	23,77
Solidnost	0,87	0,74	1,00	0,25	0,04	4,07

Korelaciona matrica dobijena je korišćenjem Pirsonovih koeficijenata korelacije među dobijenim parametrima. Statistički značajne pozitivne korelacije prikazane su plavom bojom u tabeli 10, dok su statistički značajne negativne korelacije prikazane crvenom bojom. Uočeno je da većina parametara pokazuje značajne korelacije sa drugim parametrima, osim fluktuirajuće asimetrije.

Tabela 10. Korelacije između parametara lista medunca

	Dužina (cm)	Širina (cm)	Površina (cm^2)	Odnos dužina/širina	Fluktuirajuća asimetrija	Zaobljenost	Cirkularnost	Solidnost
Dužina (cm)	*	0,68	0,86	0,16	0,02	-0,25	-0,31	-0,15
Širina (cm)	0,68	*	0,92	-0,59	0,07	0,46	-0,32	-0,15
Površina (cm^2)	0,86	0,92	*	-0,29	0,04	0,25	-0,22	-0,00
Odnos dužina/širina	0,16	-0,59	-0,29	*	-0,07	-0,88	0,09	0,05
Fluktuirajuća asimetrija	0,02	0,07	0,04	-0,07	*	0,05	-0,05	0,00
Zaobljenost	-0,25	0,46	0,25	-0,88	0,05	*	0,19	0,29
Cirkularnost	-0,31	-0,32	-0,22	0,09	-0,05	0,19	*	0,81
Solidnost	-0,15	-0,15	-0,00	0,05	0,00	0,29	0,81	*

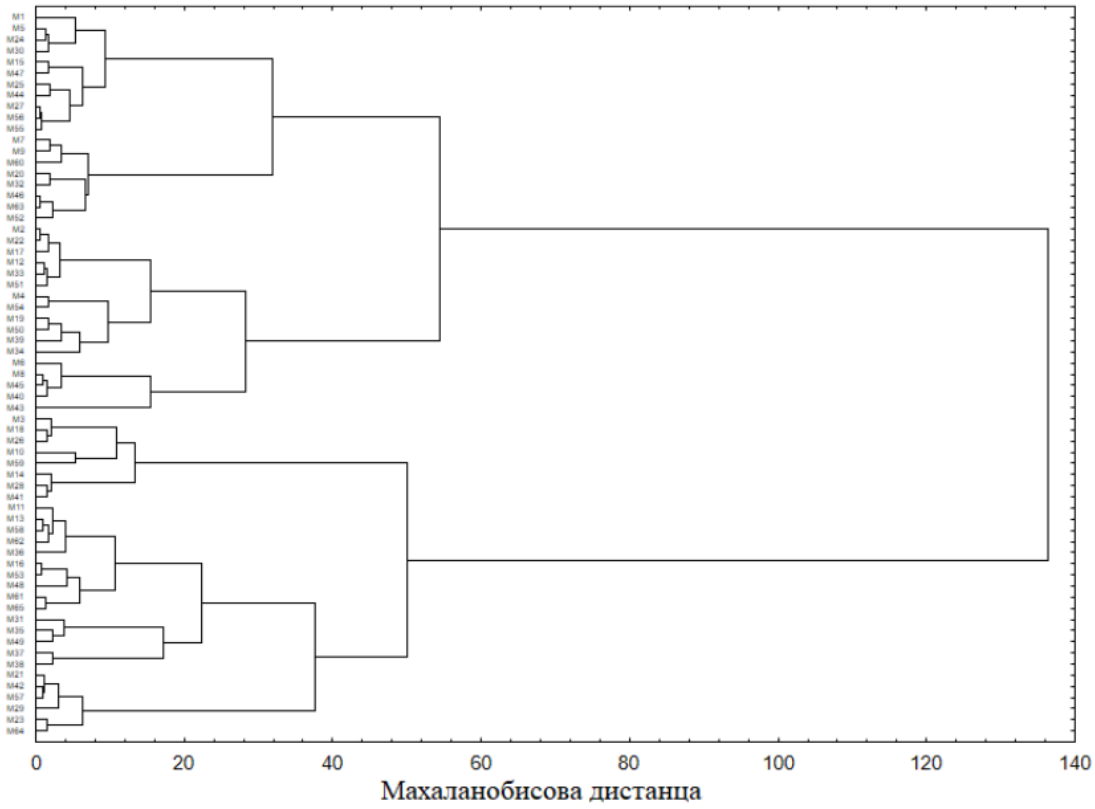
Analiza varijanse pokazala je postojanje statistički značajnog efekta selekcionisane individue na parametre lista medunca (Wilks' $\lambda = 0,03$, $F = 5,10$ $p < 0,01$).

Statistički značajne razlike bile su prisutne između svih dobijenih parametara, osim fluktuirajuće asimetrije (tabela 11).

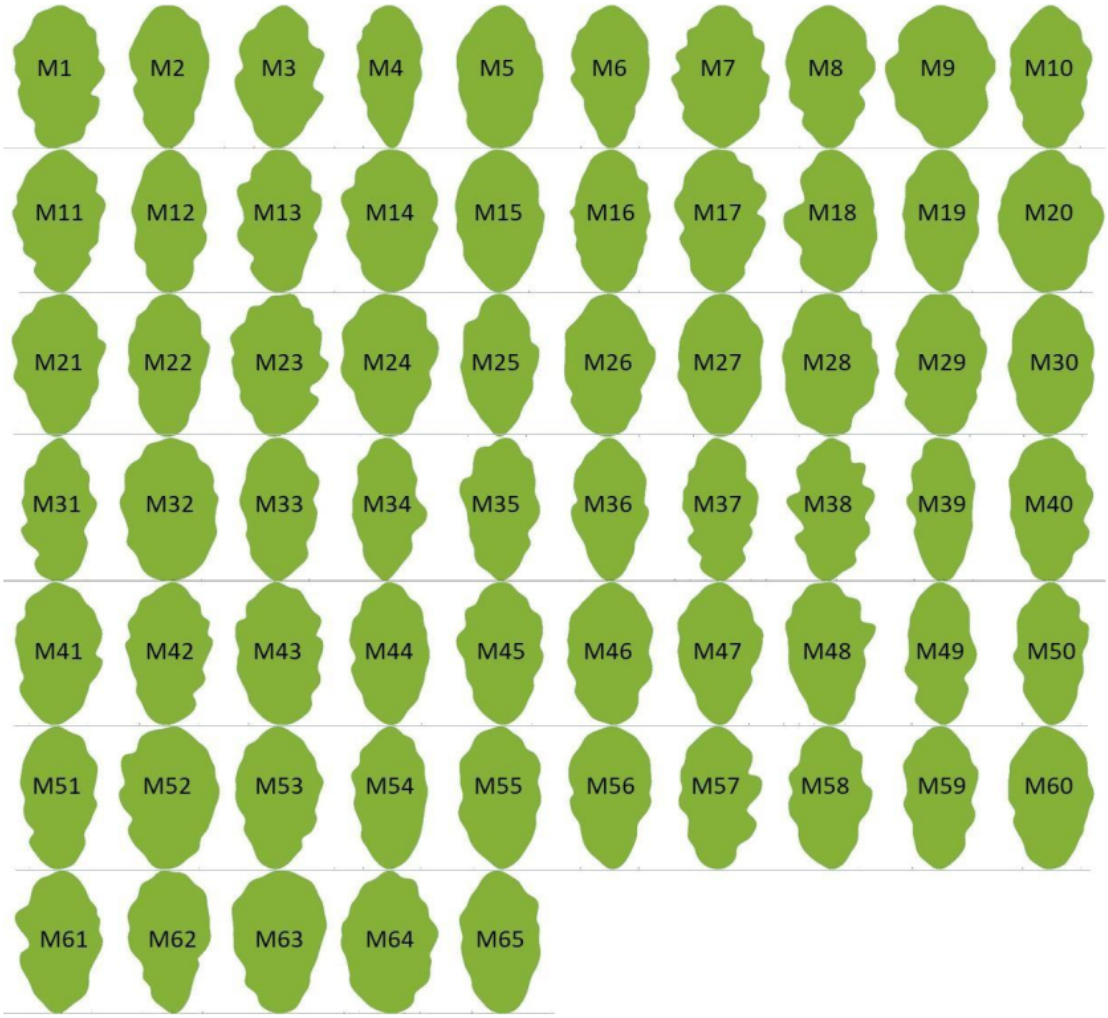
Tabela 11. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista medunca sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom

Parametar	F	p
Dužina (cm)	9,50	< 0,01
Širina (cm)	5,90	< 0,01
Površina (cm^2)	6,69	< 0,01
Odnos dužina/širina	5,88	< 0,01
Fluktuirajuća asimetrija	1,32	0,05
Zaobljenost	7,27	< 0,01
Cirkularnost	15,63	< 0,01
Solidnost	10,90	< 0,01

Analiza grozdovanja (klaster) rezultovala je formiranjem dendrograma koji ilustruje odnos među individuama medunca na osnovu parametara lista (slika 24), dok je Eliptična Furijeova analiza rezultovala dobijanjem prosečnih kontura lista za svaku individuu (slika 25).

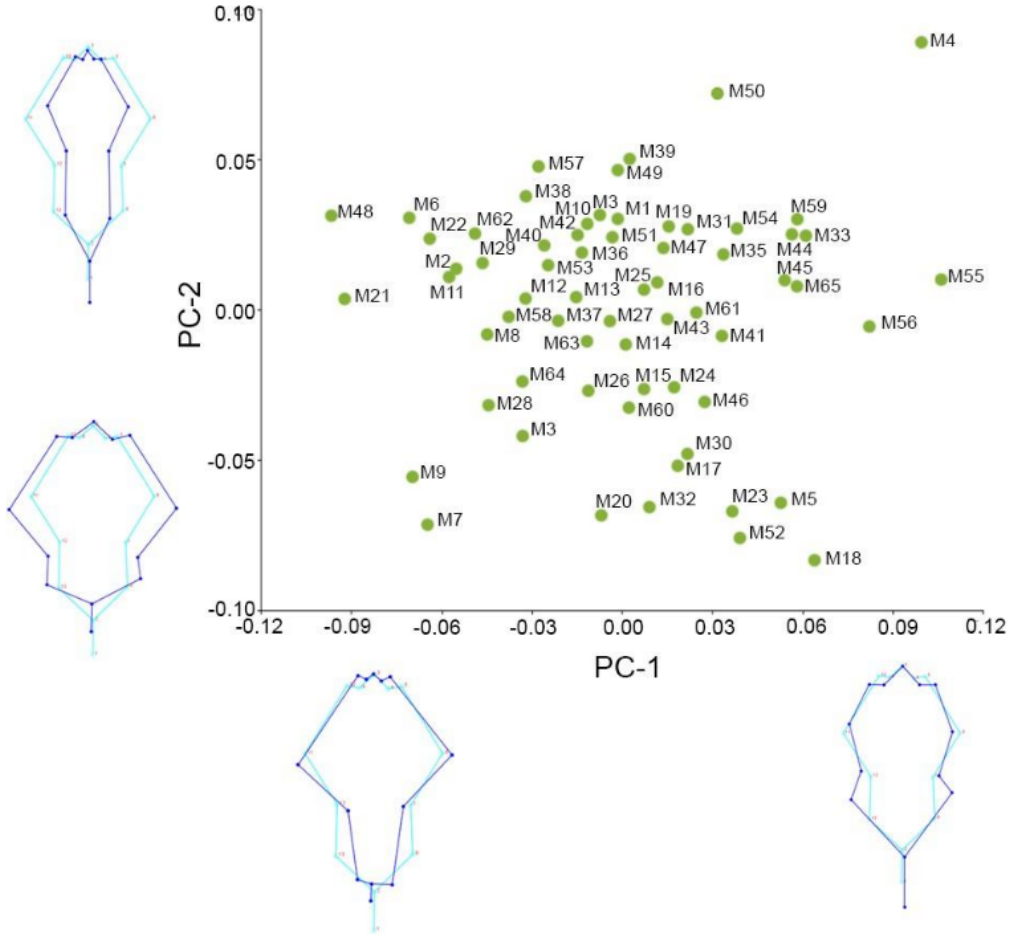


Slika 24. Dendrogram selekcionisanih individua medunca dobijen analizom grozdovanja na osnovu parametara lista



Slika 25. Prosečne konture lista selekcionisanih individua medunca dobijeneeliptičnom Furijeovom analizom

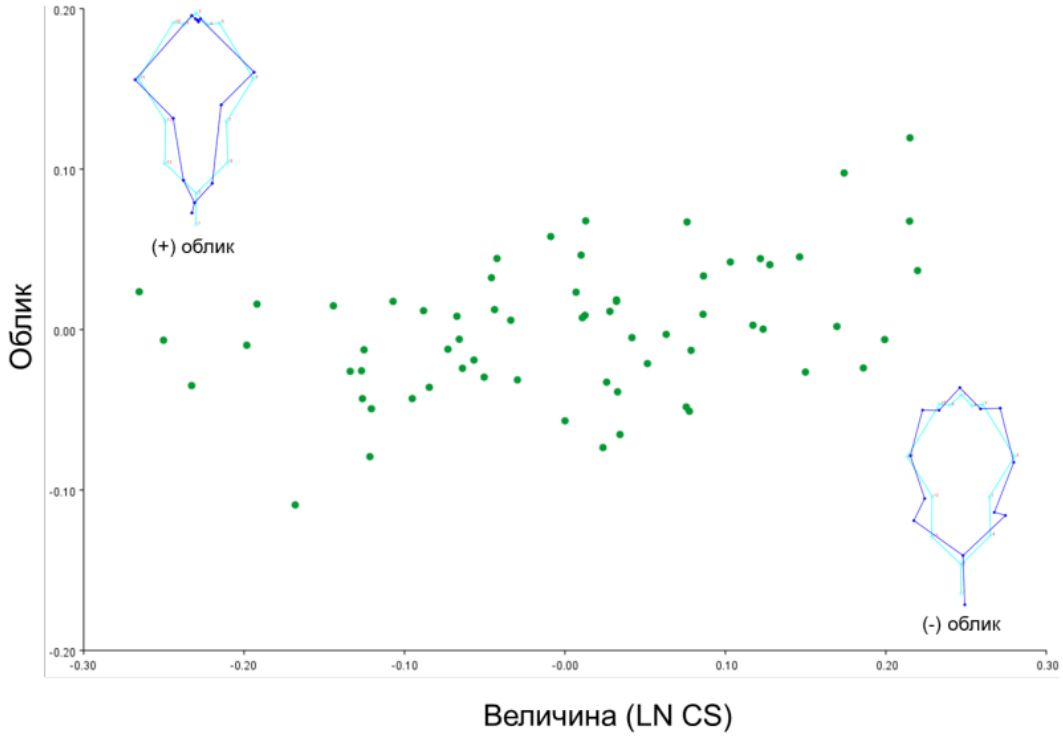
Specifične tačke analizirane su preko glavnih komponenti (PCA) što je pokazalo da su prve četiri ose opisale 72,98% varijabilnosti (PC-1: 29,91%; PC-2: 21,09%, PC-3: 13,70%, PC-4: 8,29%). Ordinacija duž prve dve PC ose pokazala je odvajanje selekcionisanih individua medunca na osnovu variranja oblika lista (slika 26).



Slika 26. Ordinacija selekcionisanih individua medunca duž prve (PC-1) i druge (PC- 2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Prokrustova analiza varijanse pokazala je statistički značajan efekat selekcionisane individue medunca i na veličinu i na oblik lista (veličina centroida: $F = 9{,}37$, $p < 0{,}01$; oblik: $F = 4{,}71$, $p < 0{,}01$).

Dvoblokovska analiza parcijalnih najmanjih kvadrata kod medunca (slika 27) pokazala je da selekcionisane individue koje imaju veću veličinu lista pokazuju tendenciju posedovanja uže lisne ploče i kraće lisne drške.



Slika 27. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika lista medunca (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

4.1.1.4. Sladun

Deskriptivne statističke analize za dužinu, širinu, površinu, odnos dužina/širina, fluktuirajuću asimetriju, zaobljenost, cirkularnost i solidnost lista sladuna prikazane su u tabeli 12. Najveći koeficijent varijacije zabeležen je za fluktuirajuću asimetriju, ukazujući da je ovaj parametar najviše varirao u uzorku (od vrednosti 0 koja ukazuje na potpuno simetrične listove, do vrednosti od 0,78 koja ukazuje na značajne razlike između leve i desne strane lista). Parametar koji se pokazao najstabilnijim (najmanji koeficijent varijacije) bila je solidnost.

Tabela 12. Deskriptivni statistički pokazatelji osnovnih parametara lista sladuna

	Srednja vrednost	Minimum	Maksimum	Opseg	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije
Dužina (cm)	14,40	7,61	23,43	15,82	2,86	19,84
Širina (cm)	9,39	5,02	15,28	10,25	2,03	21,66
Površina (cm^2)	80,47	25,20	206,98	181,78	32,04	39,81
Odnos dužina/širina	1,55	0,98	2,33	1,35	0,22	14,04
Fluktuirajuća asimetrija	0,11	0,00	0,78	0,78	0,12	112,10
Zaobljenost	0,48	0,26	0,85	0,58	0,08	15,92
Cirkularnost	0,27	0,12	0,54	0,42	0,07	26,27
Solidnost	0,83	0,68	0,91	0,23	0,03	4,09

Korelaciona matrica, dobijena je korišćenjem Pirsonovih koeficijenata korelacije među dobijenim parametrima. Statistički značajne pozitivne korelacije prikazane su plavom bojom u tabeli 13, dok su statistički značajne negativne korelacije prikazane crvenom bojom. Uočeno je da većina parametara pokazuje značajne korelacije sa drugim parametrima, osim fluktuirajuće asimetrije, koja je pokazala statistički značajne pozitivne korelacije sa širinom, a negativne sa odnosom dužina/širina.

Tabela 13. Korelacije između parametara lista sladuna

	Dužina (cm)	Širina (cm)	Površina (cm^2)	Odnos dužina/širina	Fluktuirajuća asimetrija	Zaobljenost	Cirkularnost	Solidnost
Dužina (cm)	*	0,79	0,91	0,19	0,04	-0,20	-0,30	0,08
Širina (cm)	0,79	*	0,94	-0,44	0,09	0,39	-0,24	0,15
Površina (cm^2)	0,91	0,94	*	-0,17	0,08	0,19	-0,20	0,23
Odnos dužina/širina	0,19	-0,44	-0,17	*	-0,09	-0,90	-0,04	-0,11
Fluktuirajuća asimetrija	0,04	0,09	0,08	-0,09	*	0,07	0,03	0,02
Zaobljenost	-0,20	0,39	0,19	-0,90	0,07	*	0,25	0,39
Cirkularnost	-0,30	-0,24	-0,20	-0,04	0,03	0,25	*	0,59
Solidnost	0,08	0,15	0,23	-0,11	0,02	0,39	0,59	*

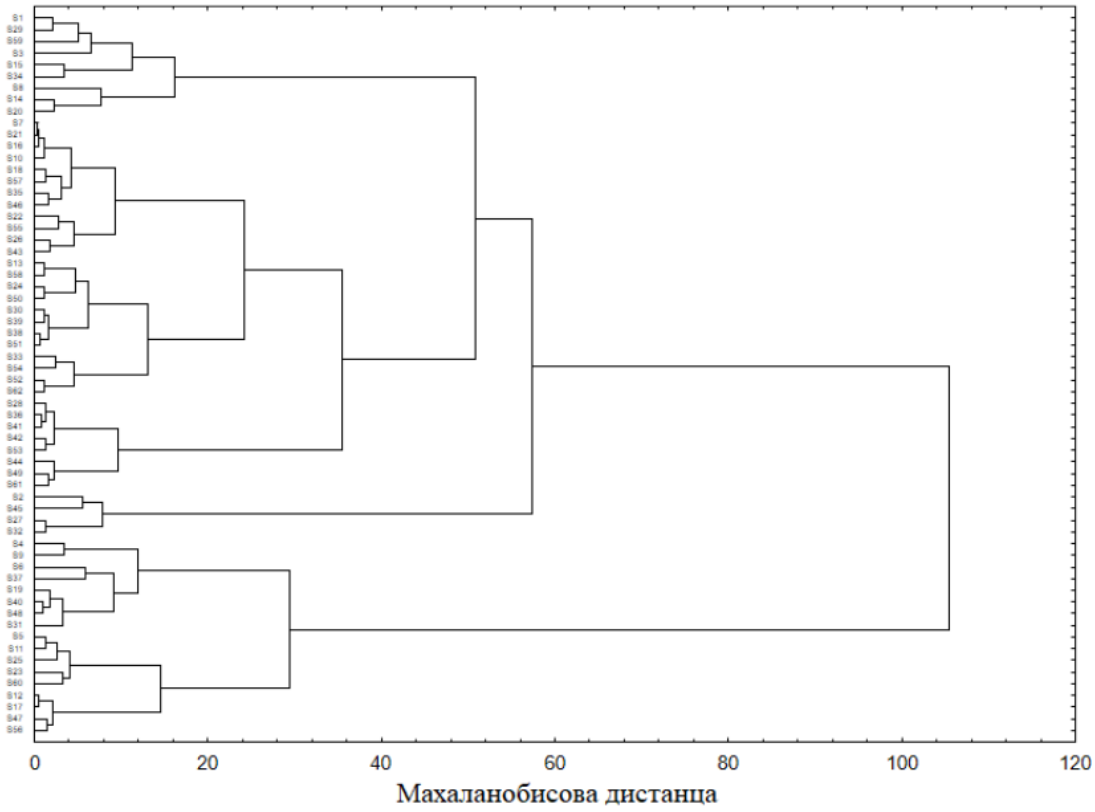
Analiza varijanse pokazala 39 postojanje statistički značajnog efekta selekcionisane individue na parametre lista sladuna (Wilks' $\lambda = 0{,}04$, $F = 4{,}70$, $p < 0{,}01$).

Statistički značajne razlike bile su prisutne između svih dobijenih parametara, osim fluktuirajuće asimetrije (tabela 14).

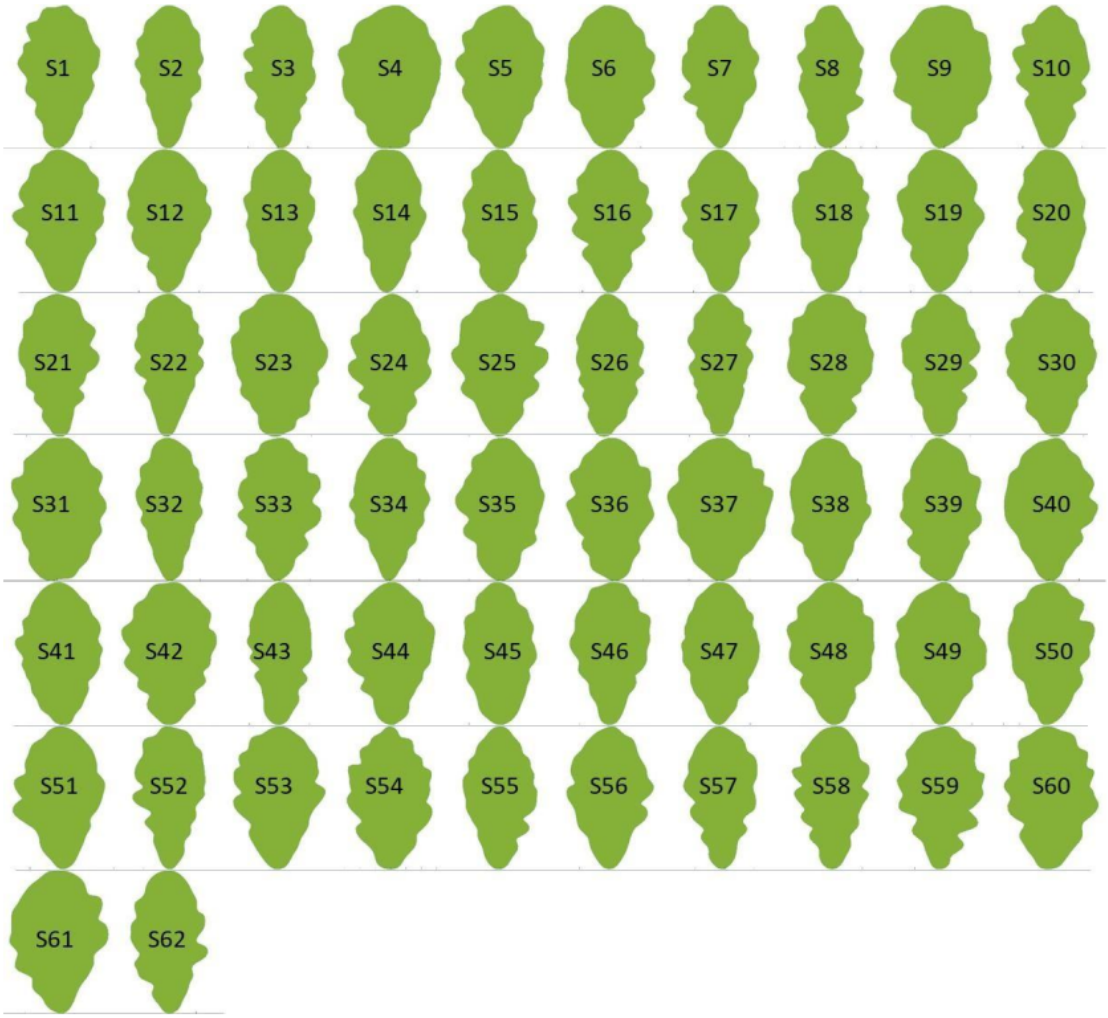
Tabela 14. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista sladuna sa selekcionisanom individuom kao grupišućom promenljivom

Parametar	F	p
Dužina (cm)	4,65	< 0,01
Širina (cm)	4,40	< 0,01
Površina (cm^2)	3,95	< 0,01
Odnos dužina/širina	8,38	< 0,01
Fluktuirajuća asimetrija	1,03	0,41
Zaobljenost	9,93	< 0,01
Cirkularnost	9,90	< 0,01
Solidnost	10,60	< 0,01

Analiza grozdovanja (klaster) rezultovala je formiranjem dendrograma koji ilustruje odnos među individuama sladuna na osnovu parametara lista (Slika 28), dok je Eliptična Furijeova analiza rezultovala dobijanjem prosečnih kontura lista za svaku individuu (slika 29).

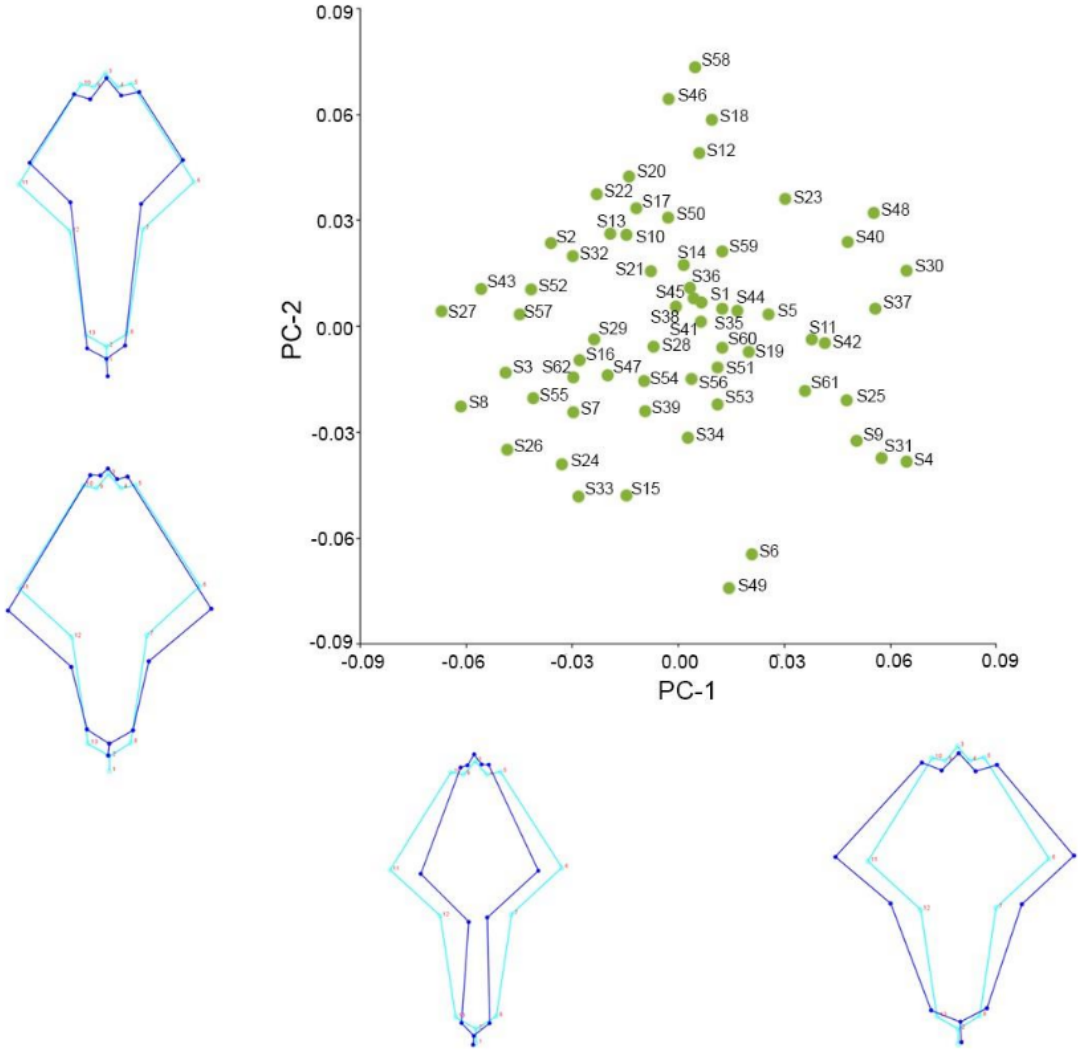


Slika 28. Dendrogram selekcionisanih individua sladuna dobijen analizom grozdovanjana osnovu parametara lista



Slika 29. Prosečne konture lista selekcionisanih individua sladuna dobijeneeliptičnom Furijeovom analizom

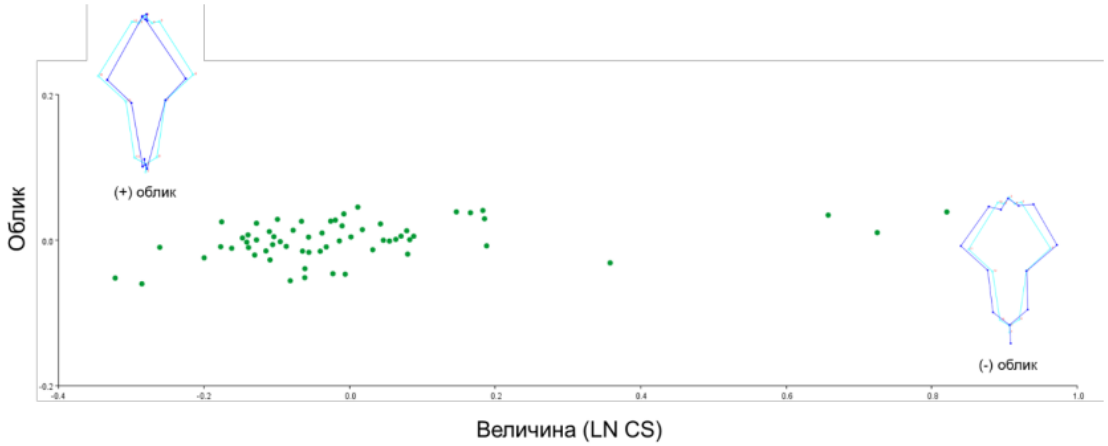
Specifične tačke analizirane su analizom glavnih komponenti (PCA) koja je pokazala da su prve četiri ose opisale 78,72% varijabilnosti (PC-1: 29,71%; PC-2: 25,13%, PC-3: 13,18%, PC-4: 10,70%). Ordinacija duž prve dve PC ose pokazala je odvajanje selekcionisanih individua sladuna na osnovu variranja oblika lista (slika 30).



Slika 30. Ordinacija selekcionisanih individua sladuna duž prve (PC-1) i druge (PC- 2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Prokrustova analiza varijanse pokazala je statistički značajan efekat selekcionisane individue sladuna i na veličinu i na oblik lista (veličina centroida: $F = 19{,}81$, $p < 0{,}01$; oblik: $F = 2{,}73$, $p < 0{,}01$).

Dvoblokovska analiza parcijalnih najmanjih kvadrata kod sladuna (slika 31) pokazala je mali uticaj veličine na oblik lista.



Slika 31. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika lista sladuna (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

4.1.2. Međuvrsna varijabilnost

Korelaciona matrica, dobijena je korišćenjem Pirsonovih koeficijenata korelacije među dobijenim parametrima. Statistički značajne pozitivne korelacije prikazane su plavom bojom u tabeli 15, dok su statistički značajne negativne korelacije prikazane crvenom bojom. Uočeno je da većina parametara pokazuje značajne korelacije sa drugim parametrima, osim fluktuirajuće asimetrije.

Tabela 15. Korelacije između parametara lista svih vrsta hrastova

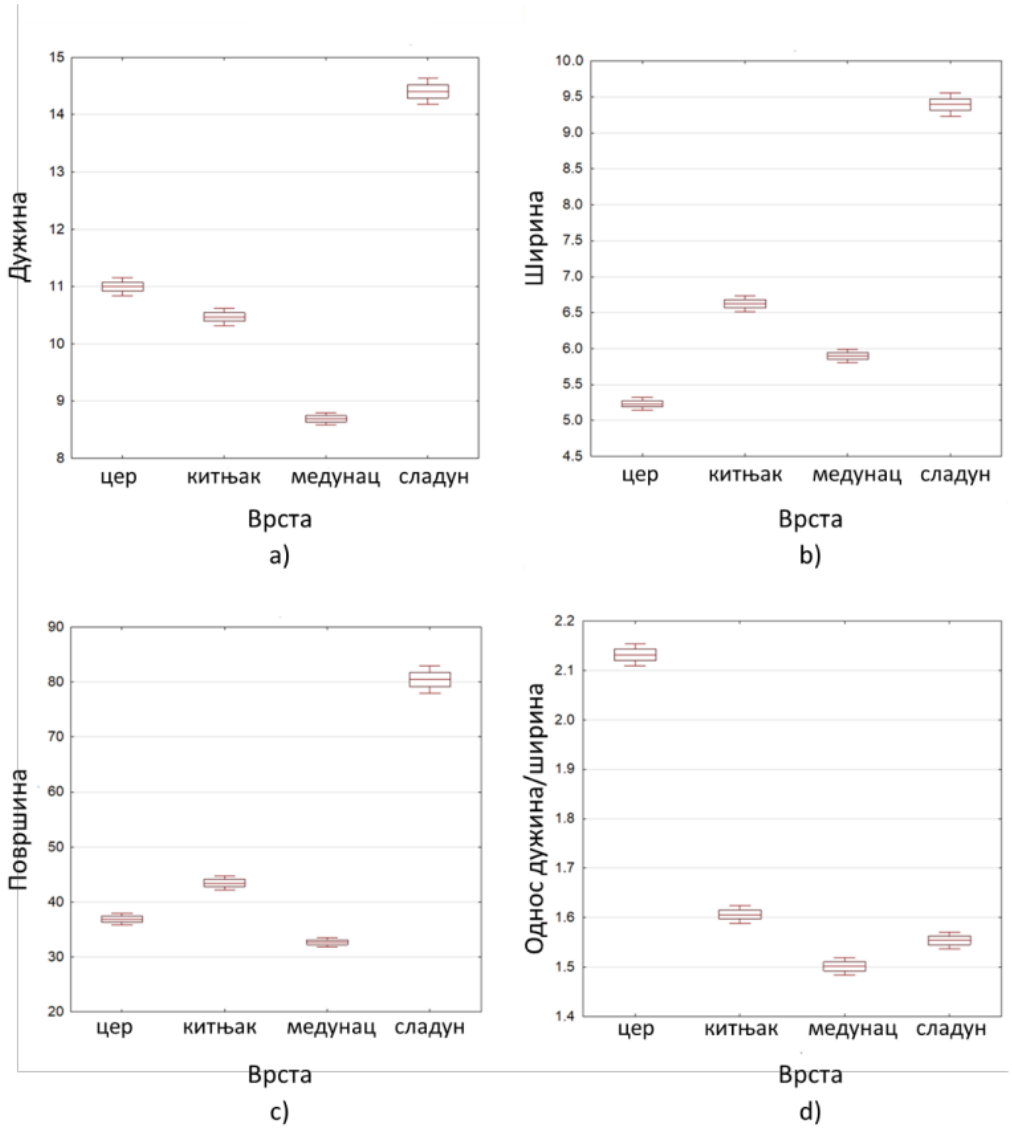
	Dužina (cm)	Širina (cm)	Površina (cm^2)	Odnos dužina/širin	Fluktuirajuća asimetrija	Zaobljenost	Cirkularnost	Solidnost
Dužina (cm)	*	0,80	0,92	0,07	0,00	-0,25	-0,59	-0,33
Širina (cm)	0,80	*	0,94	-0,51	0,03	0,33	-0,59	-0,39
Površina (cm^2)	0,92	0,94	*	-0,25	0,02	0,10	-0,54	-0,29
Odnos dužina/širina	0,07	-0,51	-0,25	*	-0,03	-0,89	0,14	0,21
Fluktuirajuća asimetrija	0,00	0,03	0,02	-0,03	*	0,03	-0,03	-0,03
Zaobljenost	-0,25	0,33	0,10	-0,89	0,03	*	0,13	0,11
Cirkularnost	-0,59	-0,59	-0,54	0,14	-0,03	0,13	*	0,80
Solidnost	-0,33	-0,39	-0,29	0,21	-0,03	0,11	0,80	*

Analiza varijanse pokazala je postojanje statistički značajnog efekta vrste na parametre lista (Wilks' $\lambda = 0,17$, $F = 252,30$, $p < 0,01$). Statistički značajne razlike bile su prisutne između svih dobijenih parametara (tabela 16).

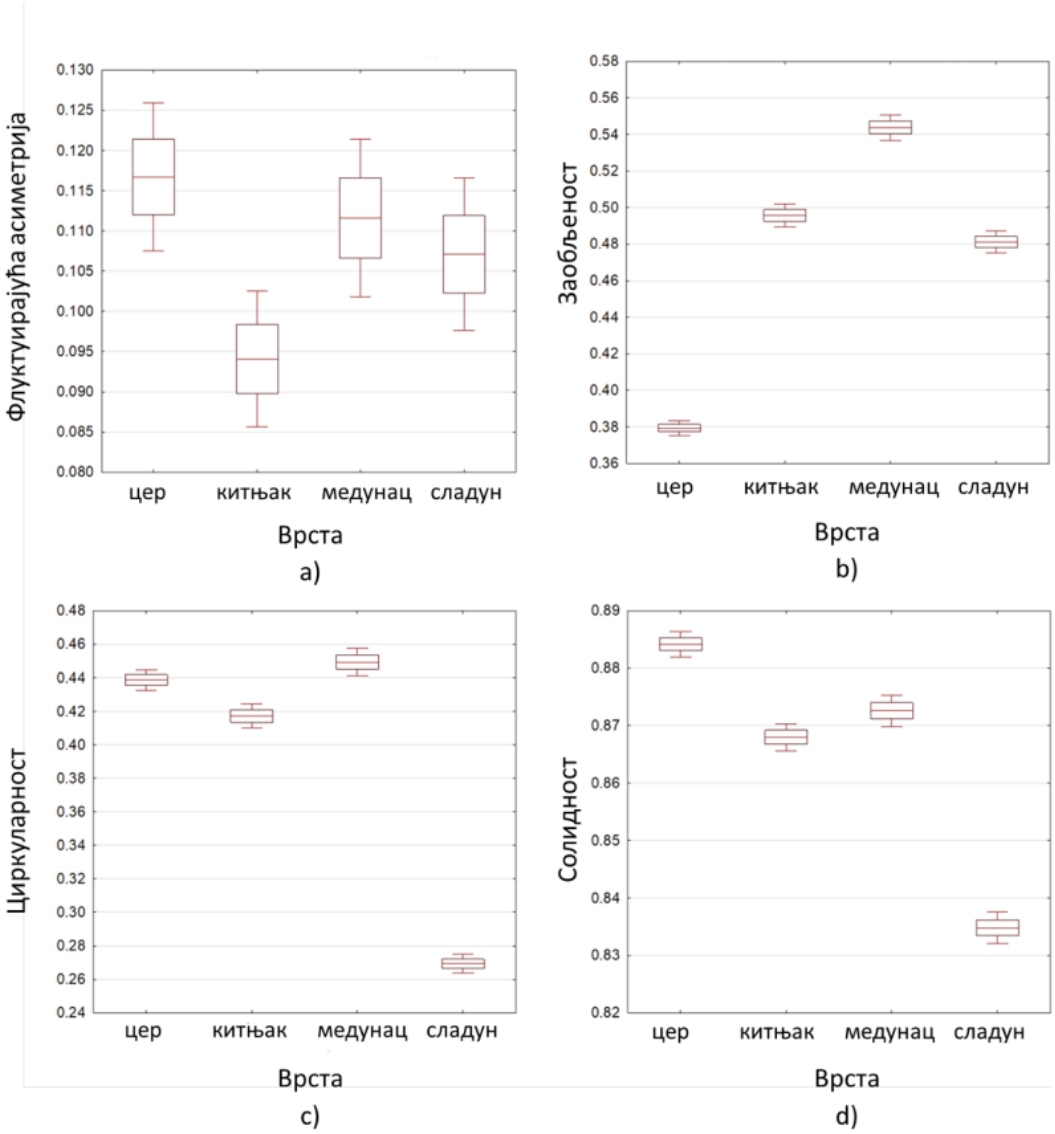
Tabela 16. Rezultati analize varijanse (F i p vrednosti) za parametre lista sa vrstomkao grupišućom promenljivom

Parametar	F	p
Dužina (cm)	826,43	< 0,01
Širina (cm)	946,83	< 0,01
Površina (cm^2)	759,76	< 0,01
Odnos dužina/širina	914,70	< 0,01
Fluktuirajuća asimetrija	4,103	0,01
Zaobljenost	523,06	< 0,01
Cirkularnost	569,96	< 0,01
Solidnost	272,00	< 0,01

Najveće vrednosti dužine i površine lista zabeležene su za sladun, a najmanje za medunac (slika 32a, c), dok je najveće vrednosti širine takođe imao sladun, a najmanje cer (slika 32b). Najveće vrednosti odnosa dužina/širina imao je cer, a najmanje medunac (slika 32d). Najveće vrednosti fluktuirajuće asimetrije zabeležene su za cer, najmanje za kitnjak (slika 33a). Medunac je imao najveće vrednosti zaobljenosti, dok su najmanje vrednosti ovog parametra zabeležene kod cera (slika 33b). Najveće vrednosti cirkularnosti zabeležene su kod medunca, a najmanje kod sladuna (slika 33c). Najveće vrednosti solidnosti opservirane su kod cera, a najmanje kod sladuna (slika 33d).

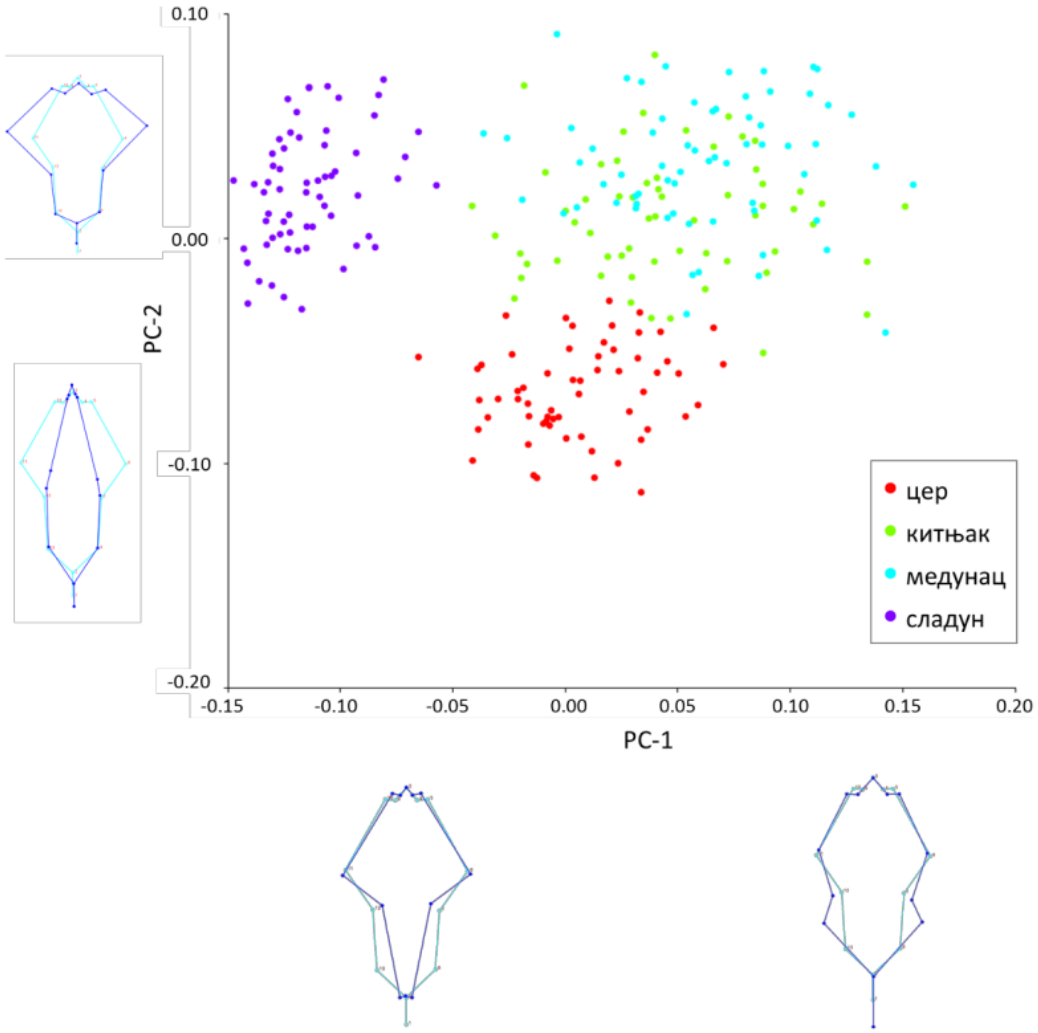


Slika 32. Srednja vrednost, standardna greška i 95% interval poverenja za a) dužinu, b)širinu, c) površinu i d) odnos dužina/širina kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna



Slika 33. Srednja vrednost, standardna greška i 95% interval poverenja za a) fluktuirajuću asimetriju, b) zaobljenost, c) cirkularnost i d) solidnost kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna

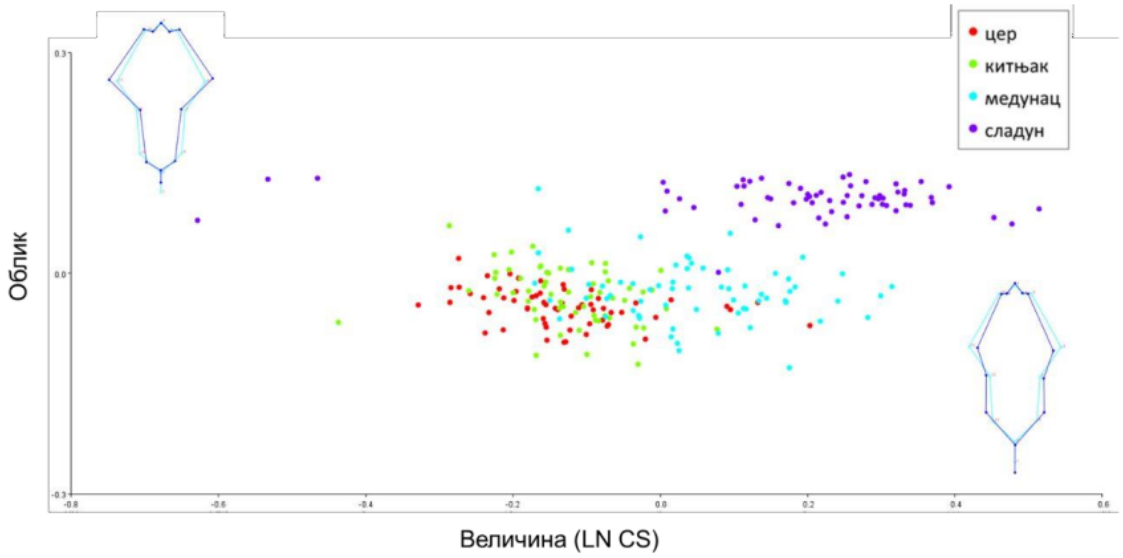
Specifične tačke analizirane su preko glavnih komponenti (PCA) što je pokazalo da su prve četiri ose opisale 87,27% varijabilnosti (PC-1: 52,02%; PC-2: 19,37%, PC-3: 10,08%, PC-4: 5,81%). Ordinacija duž prve dve PC ose pokazala je grupisanje selekcionisanih individua sladuna na osnovu uskog donjeg i širokog gornjeg dela lisne ploče i kratke lisne drške. Cer se odvojio od ostalih vrsta na osnovu uske i zašiljene lisne ploče. Medunac i kitnjak su imali dužu lisnu dršku i manju razliku u širini gornjeg i donjeg dela lisne ploče (slika 34).



Slika 34. Ordinacija selekcionisanih individua četiri vrste hrasta duž prve (PC-1) i druge (PC-2) ose, sa prikazom promena oblika lista (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

Prokrustova analiza varijanse pokazala je statistički značajan efekat vrste na veličinu i na oblik lista (veličina centroida: $F = 102{,}49$, $p < 0{,}001$; oblik: $F = 60{,}04$, $p < 0{,}001$).

Dvoblokovska analiza parcijalnih najmanjih kvadrata između vrsta (slika 35) pokazala je jasno odvajanje sladuna na osnovu šireg dela gornjeg dela lisne ploče kod većih listova.

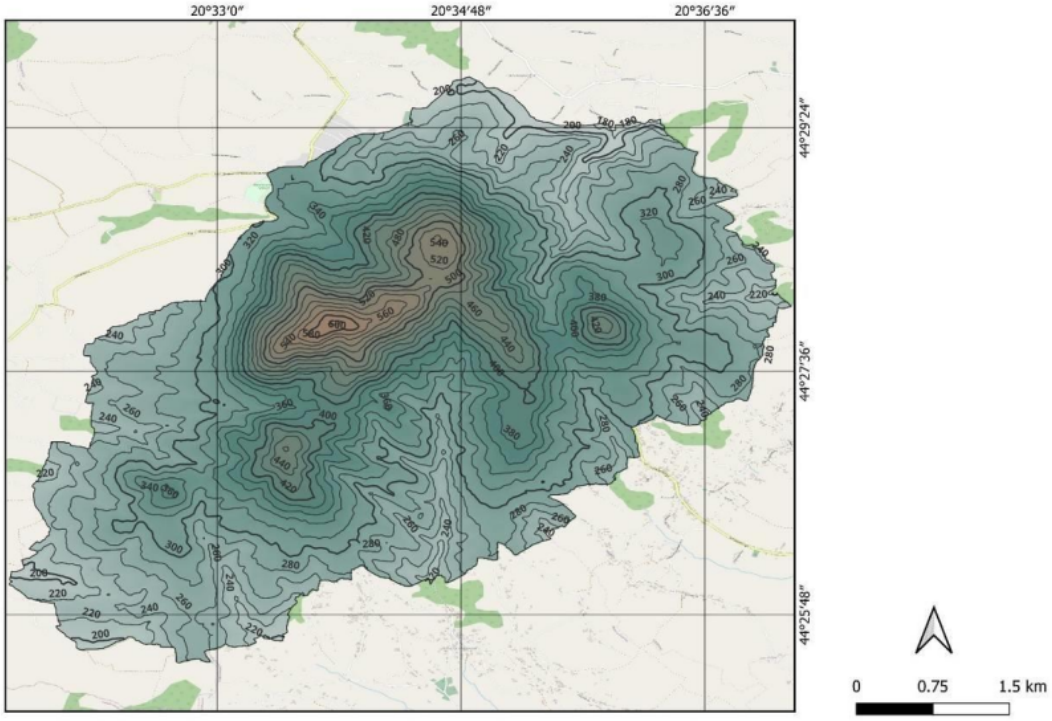


Slika 35. Ordinacija selekcionisanih individua dobijena dvoblokovskom analizom parcijalnih najmanjih kvadrata, sa prikazom promena oblika među vrstama (tamno plava boja – promena oblika lista, svetlo plava boja – prosečan oblik za ceo uzorak)

4.1.3. Beza morfologije lista i uslova staništa

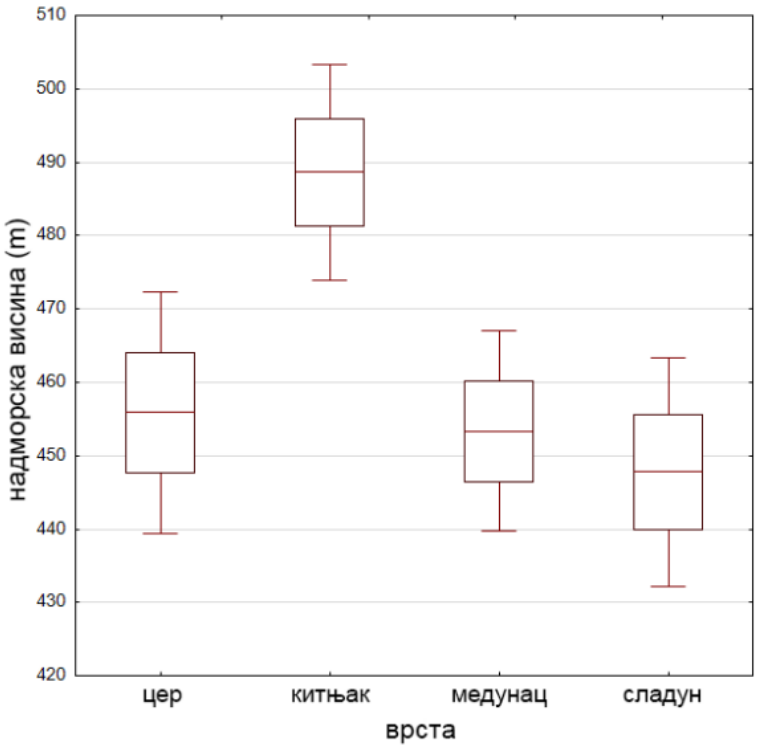
4.1.3.1. Nadmorska visina

Korišćenjem digitalnog modela terena, vrednosti nadmorske visine predstavljene su u formi mape za područje PIO „Kosmaj" (slika 36). Vrednosti nadmorske visine za svaku selekcionisanu individuu prikazane su u prilozima 11-14.



Slika 36. Vrednosti nadmorske visine na području PIO „Kosmaj" dobijene prekodigitalnog modela terena

Na osnovu vrednosti nadmorske visine dobijenih pomoću digitalnog modela terena, na najvećoj visini bile su uzorkovane individue kitnjaka, a na najmanjoj individue sladuna (slika 37).

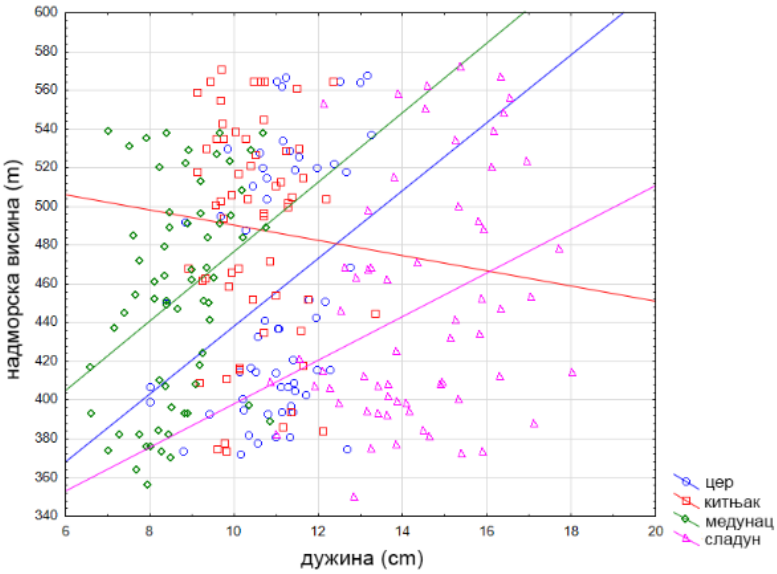


Slika 37. Srednja vrednost, standardna greška i 95% interval poverenja vrednostinadmorske visine za cer, kitnjak, medunac i sladun

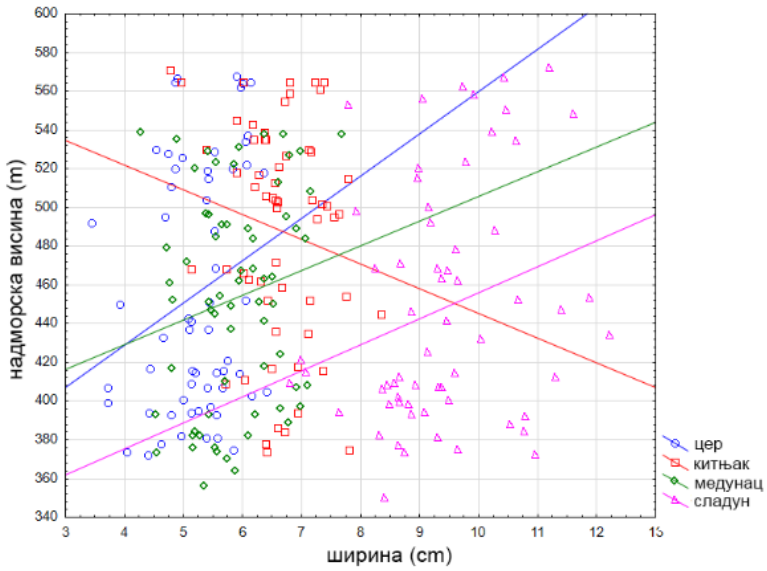
Korelacije nadmorske visine i parametara dobijenih MASS analizom pokazale su statistički značajne pozitivne korelacije nadmorske visine i dužine lista kod cera, medunca i sladuna. Kod sladuna, širina i površina lista su, takođe, bile statistički značajno pozitivno korelisane sa nadmorskom visinom. Statistički značajne negativne korelacije zaobljenosti, cirkularnosti i solidnosti zabeležene su kod cera i medunca (tabela 17, slike 38-43).

Tabela 17 Vrednosti korelacija nadmorske visine i parametara dobijenih MASS analizom sa prikazom statističke značajnosti (p). Statistički značajne korelacije predstavljene su crvenom bojom

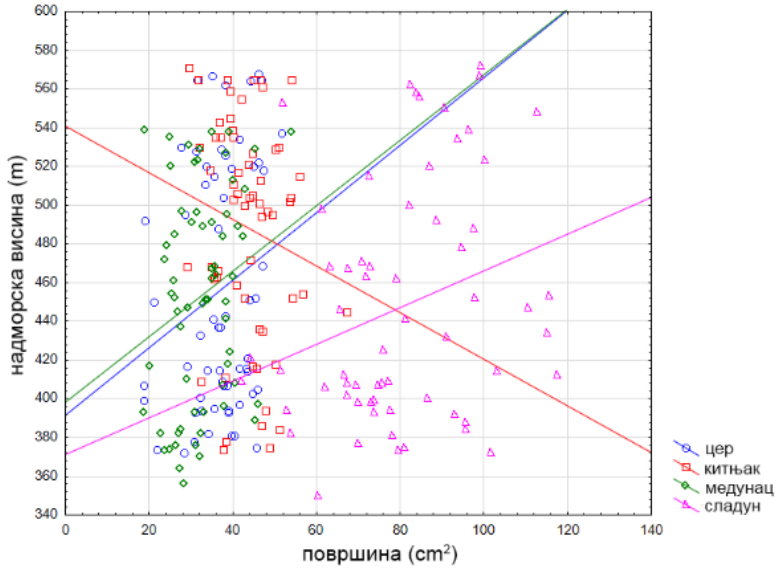
	Vrsta	Dužina	Širina	Površina	Odnos dužina/širina	Fluktuirajuća asimetrija	Zaobljenost	Cirkularnost	Solidnost
Nadmorska visina	sve vrste	0,05	0,01	0,01	0,04	0,088	-0,10	-0,06	0,10
		p=0,45	p=0,86	p=0,90	p=0,53	p=0,17	p=0,11	p=0,33	p=0,11
	cer	0,32	0,23	0,21	0,064	0,12	-0,30	-0,33	-0,41
		p=0,01	p=0,07	p=0,11	p=0,63	p=0,36	p=0,02	p=0,01	p=0,00
	kitnjak	-0,065	-0,16	-0,16	0,16	0,19	-0,15	0,01	0,01
		p=0,62	p=0,23	p=0,23	p=0,23	p=0,14	p=0,27	p=0,92	p=,948
	medunac	0,33	0,17	0,23	0,21	0,06	-0,28	-0,24	-0,32
		p=0,01	p=0,16	p=0,08	p=0,10	p=0,63	p=0,02	p=0,05	p=0,01
	sladun	0,32	0,26	0,27	0,04	0,22	-0,12	-0,24	-0,05
		p=0,02	p=0,04	p=0,03	p=0,78	p=0,08	p=0,37	p=0,06	p=0,70



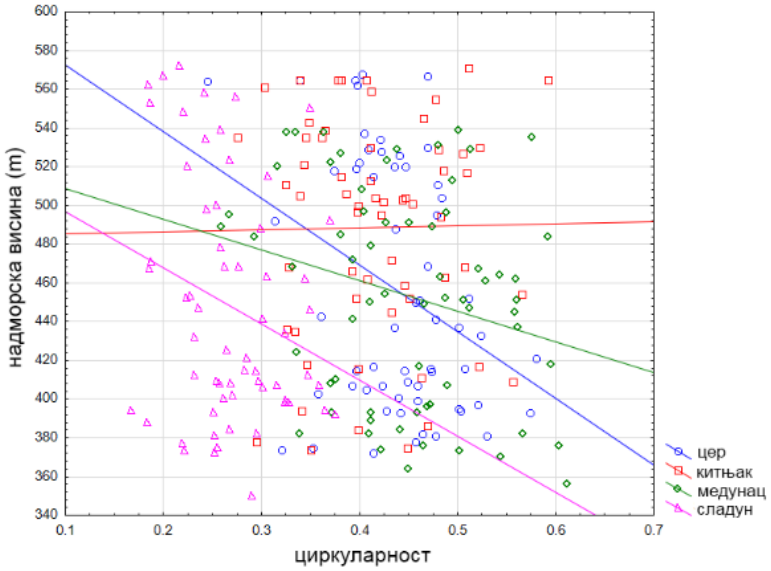
Slika 38. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i dužine lista kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna



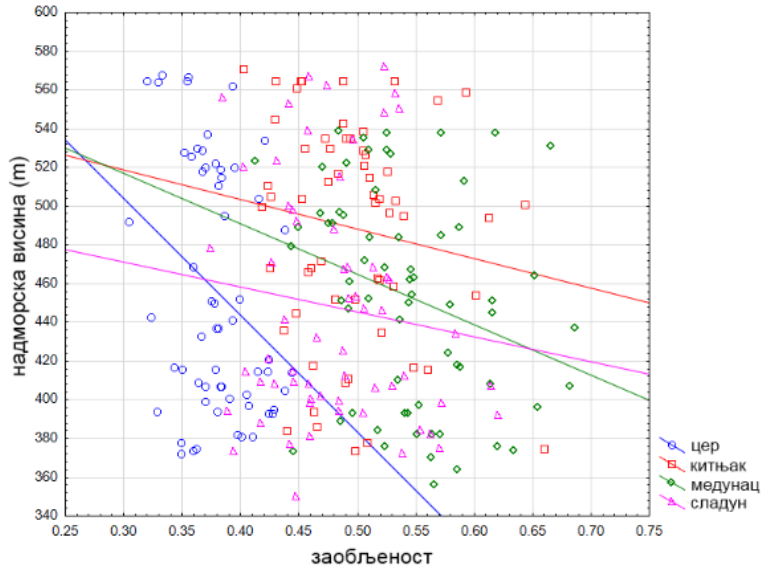
Slika 39. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i širine lista kod cera,kitnjaka, medunca i sladuna



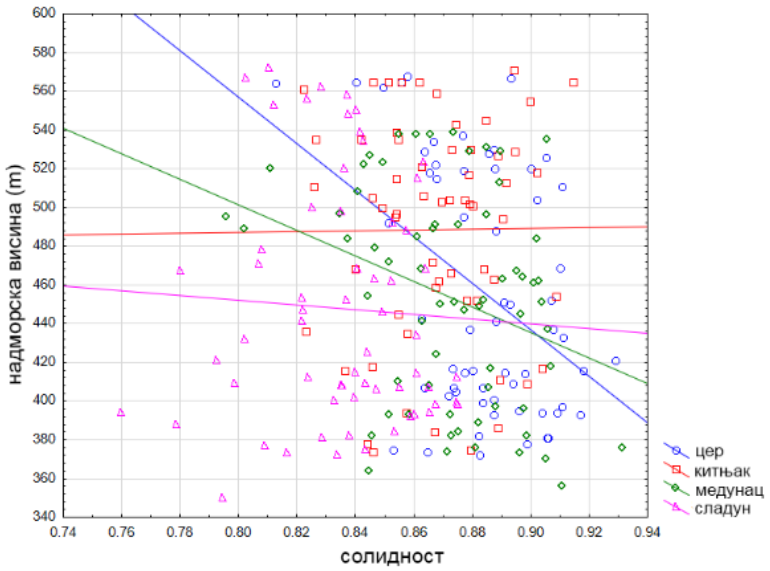
Slika 40. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i površine lista kod cera,kitnjaka, medunca i sladuna



Slika 41. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i cirkularnosti lista kodcera, kitnjaka, medunca i sladuna



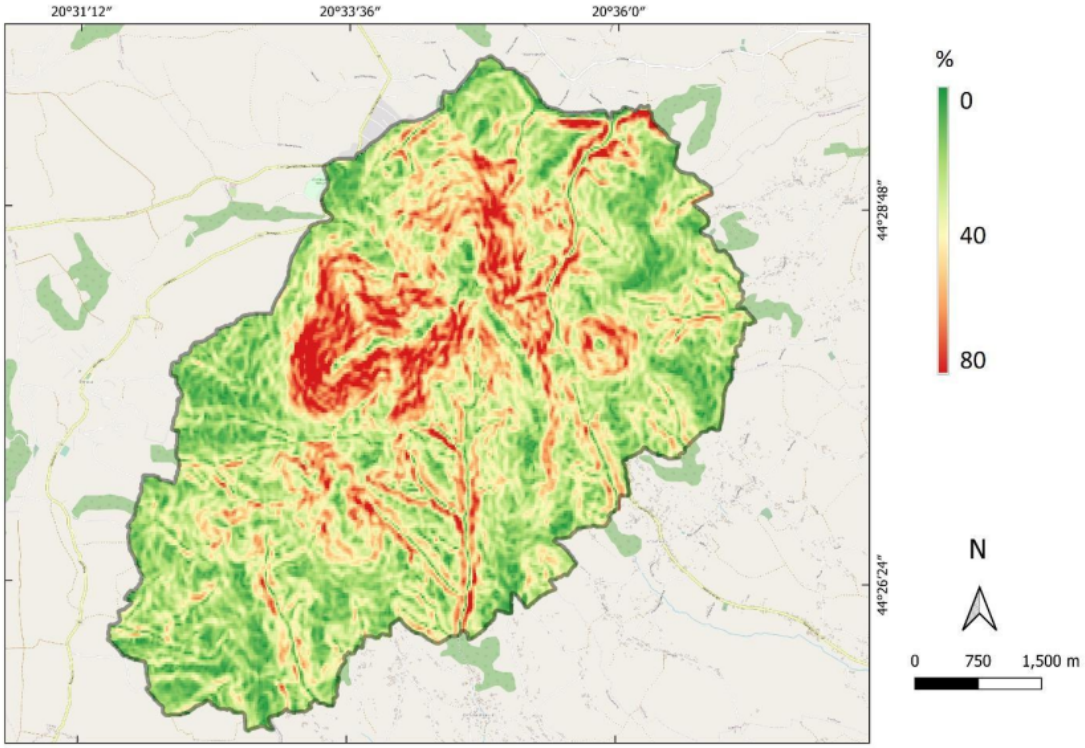
Slika 42. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i zaobljenosti lista kod cera,kitnjaka, medunca i sladuna



Slika 43. Grafički prikaz korelacije nadmorske visine i solidnosti lista kod cera,kitnjaka, medunca i sladuna

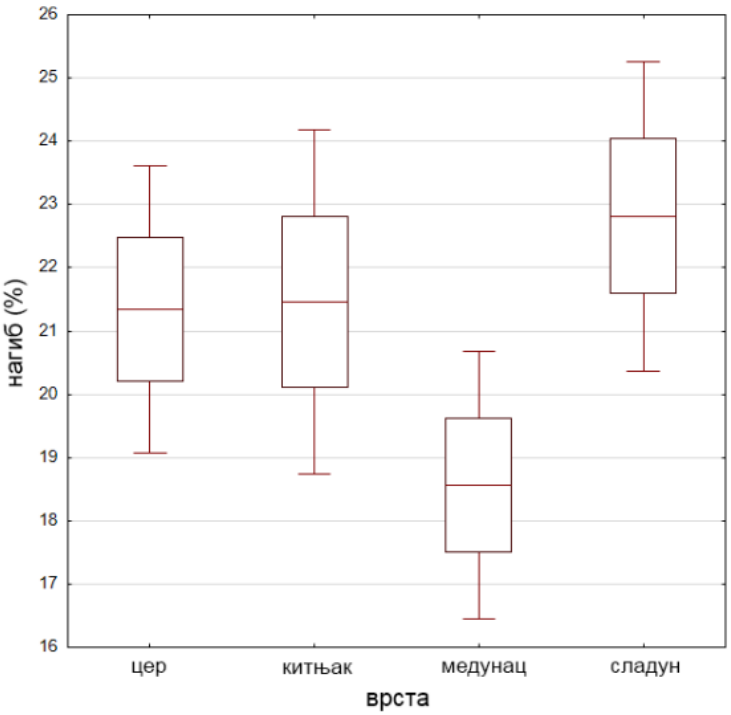
4.1.3.2. Nagib terena

Korišćenjem digitalnog modela terena, vrednosti nagiba terena predstavljene su u formi mape za područje PIO „Kosmaj" (slika 44). Vrednosti nagiba terena za svaku selekcionisanu individuu prikazane su u prilozima 11-14.



Slika 44. Vrednosti nagiba terena (%) na području PIO „Kosmaj" dobijene prekodigitalnog modela terena

Na osnovu vrednosti nagiba terena dobijenih pomoću digitalnog modela terena, na najvećem nagibu bile su uzorkovane individue sladuna, a na najmanjoj individue medunca (slika 45).

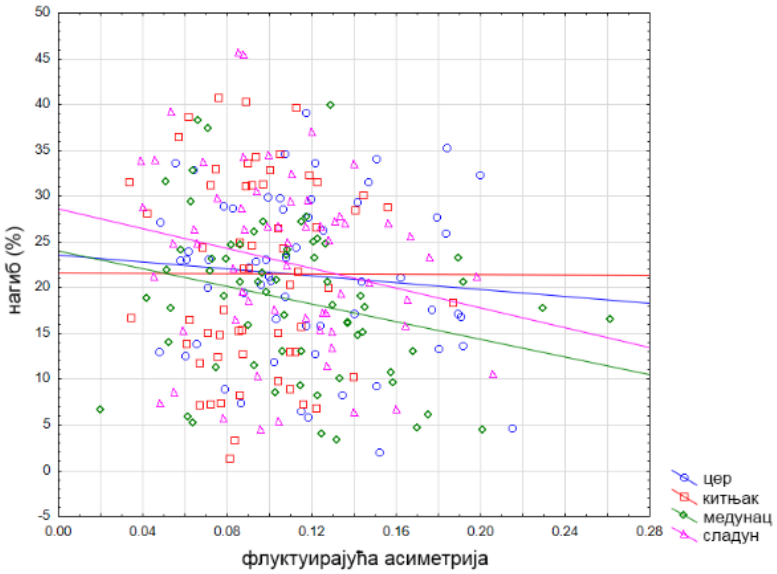


Slika 45. Srednja vrednost, standardna greška i 95% interval poverenja vrednostinagiba terena (%) za cer, kitnjak, medunac i sladun

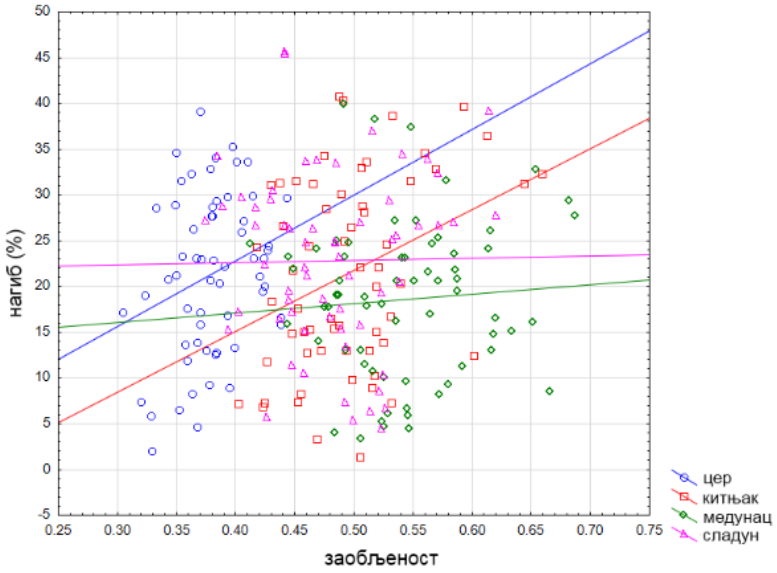
Korelacije nagiba terena i parametara dobijenih MASS analizom pokazale su statistički značajne pozitivne korelacije nagiba i širine lista kod kitnjaka. Kod kitnjaka je zabeležena i statistički značajna negativna korelacija nagiba terena i odnosa dužina/širina. Fluktuirajuća asimetrija pokazala je negativne korelacije sa nagibom terena na celom uzorku, kao i pojedinačno kod medunca. Kod cera i kitnjaka, zaobljenost lista bila je statistički značajno pozitivno korelisana sa nagibom terena. Cirkularnost je pokazala statistički značajnu pozitivnu korelaciju sa nagibom terena kod kitnjaka (tabela 18, slike 46-50).

Tabela 18. Vrednosti korelacija nagiba terena (%) i parametara dobijenih MASS analizom sa prikazom statističke značajnosti (p). Statistički značajne korelacije predstavljene su crvenom bojom

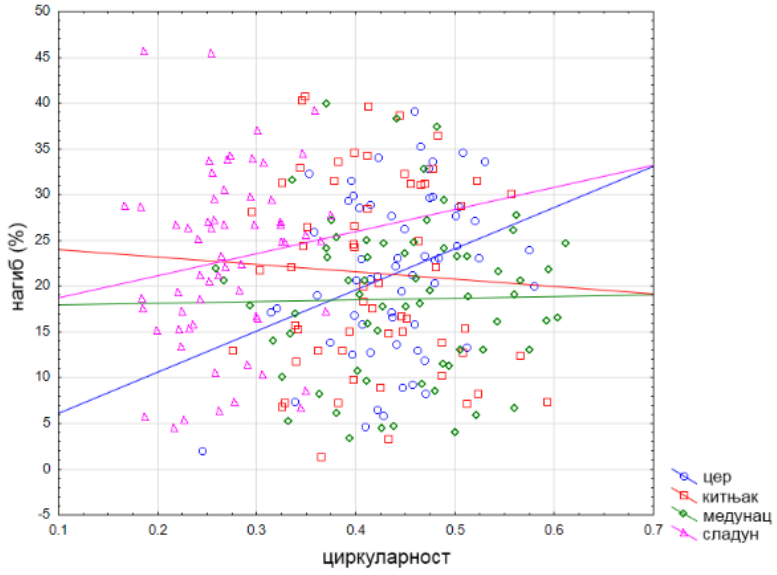
	Vrsta	Dužina	Širina	Površina	Odnos dužina/širina	Fluktuirajuća asimetrija	Zaobljenost	Cirkularnost	Solidnost
Nagib terena	sve vrste	0,11	0,10	0,10	-0,04	0,15	0,04	-0,04	0,02
		p=0,09	p=0,12	p=0,10	p=0,58	p=0,02	p=0,56	p=0,54	p=0,77
	cer	-0,01	,07	0,09	-0,17	-0,09	0,26	0,32	0,18
		p=0,93	p=,62	p=0,50	p=0,20	p=0,48	p=0,05	p=0,02	p=0,17
	kitnjak	-0,02	0,28	0,15	-0,37	-0,00	0,34	-0,05	0,06
		p=0,89	p=0,03	p=0,24	p=0,00	p=0,99	p=0,01	p=0,68	p=0,64
	medunac	-0,02	0,01	-0,02	-0,06	-0,26	0,07	0,02	0,05
		p=0,87	p=0,96	p=0,90	p=0,62	p=0,04	p=0,57	p=0,88	p=0,68
	sladun	-0,11	-0,18	-0,13	0,09	-0,22	0,01	0,13	0,12
		p=0,41	p=,016	p=0,30	p=0,50	p=0,09	p=0,92	p=0,32	p=0,34



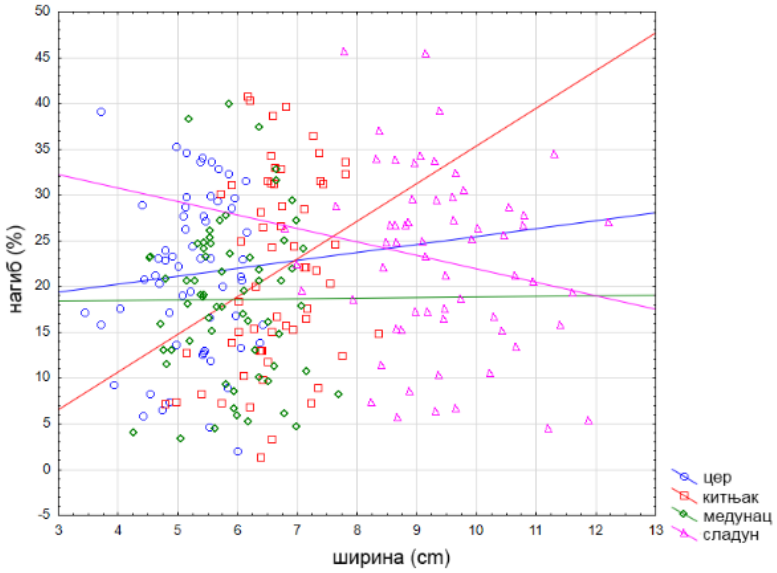
Slika 46. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i fluktuirajuće asimetrije kod cera, kitnjaka, medunca i sladuna



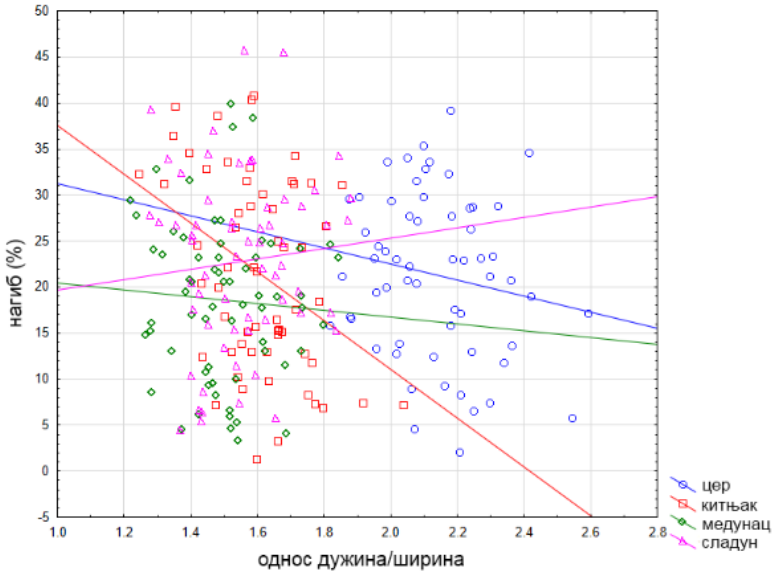
Slika 47. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i zaobljenosti kod cera, kitnjaka,medunca i sladuna



Slika 48. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i cirkularnosti kod cera, kitnjaka,medunca i sladuna



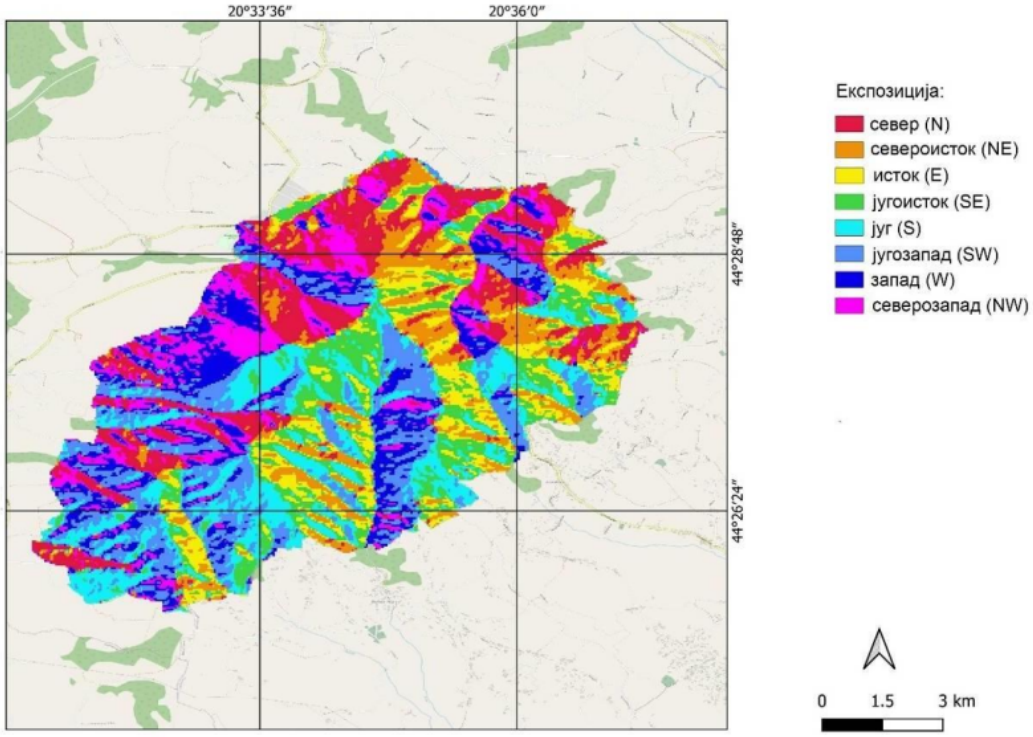
Slika 49. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i širine lista kod cera, kitnjaka,medunca i sladuna



Slika 50. Grafički prikaz korelacije nagiba terena i odnosa dužina/širina kod cera,kitnjaka, medunca i sladuna

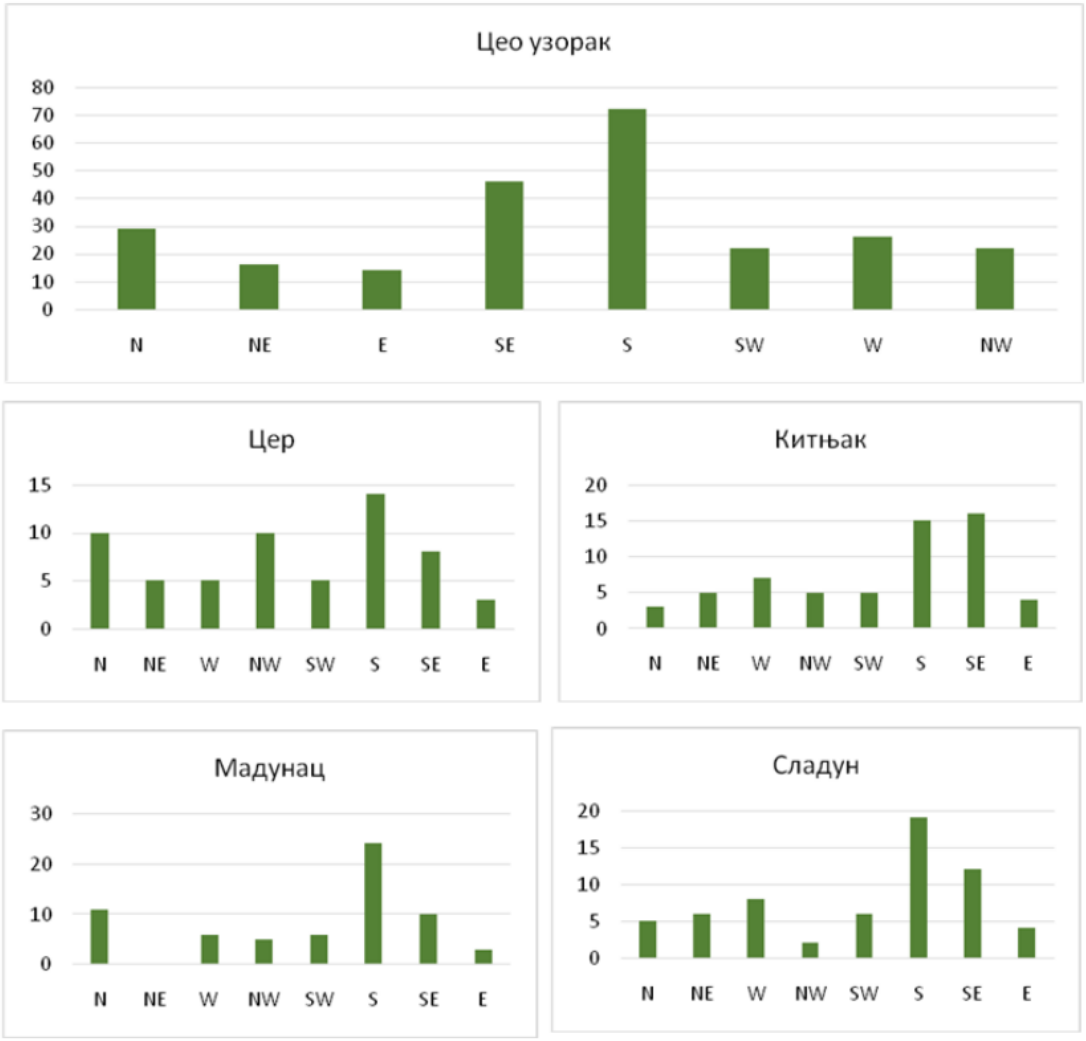
4.1.3.3. Ekspozicija

Korišćenjem digitalnog modela terena, kategorije ekspozicije predstavljene su u formi mape za područje PIO „Kosmaj" (slika 51). Kategorije ekspozicije za svaku selekcionisanu individuu prikazane su u prilozima 11-14.



Slika 51. Kategorije ekspozicije na području PIO „Kosmaj" dobijene preko digitalnogmodela terena

Na osnovu broja selekcionisanih individua prema kategoriji ekspozicije za ceo utorak, najveći broj je uzorkovan na južnoj ekspoziciji a najmanji na istočnoj. Pojedinačno po vrstama, najveći broj individua cera, medunca i sladuna uzorkovan je na južnoj ekspoziciji, a kitnjaka na jugoistočnoj. Najmanji broj individua cera uzorkovan je na istočnoj, kitnjaka na severnoj, medunca na istočnoj (i čak nijedan na jugoistočnoj) i sladuna na severozapadnoj (slika 52).



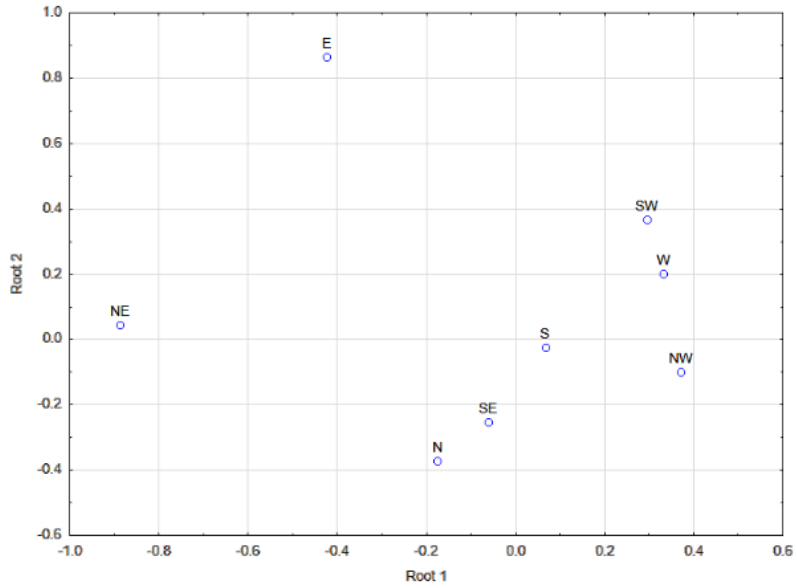
Slika 52. Broj individua uzorkovan po kategoriji ekspozicije za ceo uzorak i za vrstepojedinačno (cer, kitnjak, medunac, sladun). Skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S – jug, SE – jugoistok, E – istok

Analiza varijanse pokazala je odsustvo statistički značajnog efekta ekspozicije na parametre dobijene MASS analizom (Wilks' $\lambda = 0,74$, $F = 1,30$, $p = 0,08$). Kanonijska diskriminantna analiza potvrdila je ovu opservaciju, sa samo jednim parametrom – širinom lista, koji je pokazao statistički značajne razlike među kategorijama ekspozicije za ceo uzorak (Wilks' $\lambda = 0,79$, $F = 2,04$, $p = 0,04$). Mahalanobisove distance, dobijene kanonijskom diskriminantnom analizom, pokazale su postojanje statistički značajnih razlika između selekcionisanih individua uzorkovanih sa severa i istoka, severoistoka i zapada, severoistoka i juga, severoistoka i severozapada, istoka i jugozapada, kao i istoka i jugoistoka (tabela 19).

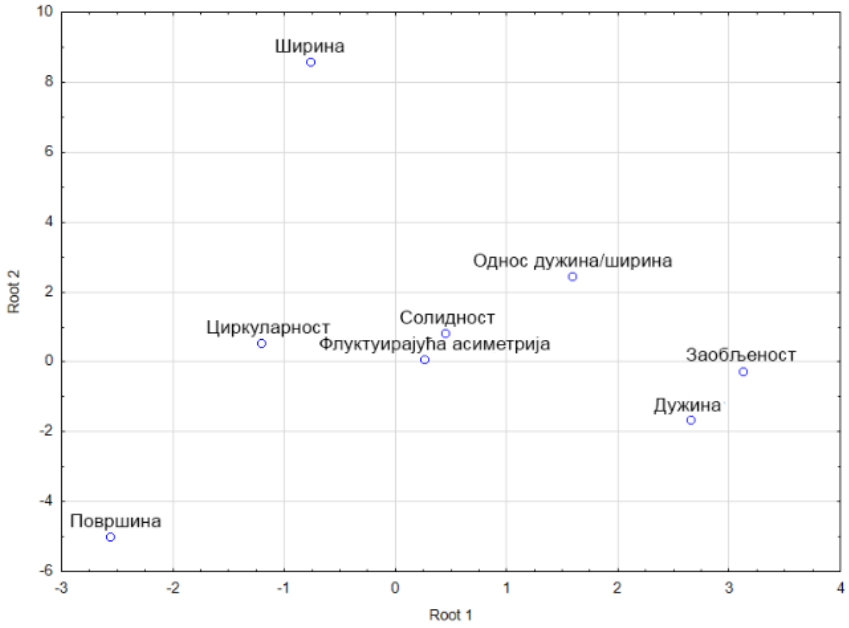
Tabela 19. Vrednosti Mahalanobisovih distanci između parova grupa ekspozicije (gornja polovina matrice) i statistička značajnost razlika među njima (p vrednost, donja polovina matrice). Statistički značajno različite distance ($p < 0,05$) označene su iskošenim brojevima

103	N	NE	W	NW	SW	S	SE	E
N		1,00	0,83	0,78	0,91	0,25	0,24	*1,71*
NE	0,27		*1,71*	*1,82*	1,66	*1,44*	1,13	1,47
W	0,20	*0,04*		0,73	0,25	0,43	0,56	1,46
NW	0,31	*0,04*	0,39		0,57	0,75	0,81	*2,10*
SW	0,21	0,07	0,94	0,64		0,41	0,63	1,03
S	0,76	*0,02*	0,44	0,15	0,57		0,21	1,08
SE	0,84	0,12	0,35	0,17	0,33	0,68		*1,55*
E	*0,05*	0,23	0,12	*0,03*	0,38	0,15	*0,05*	

Rezultati dobijeni kanonijskom diskriminantnom analizom grafički su predstavljeni u koordinatnom sistemu duž prve i druge kanonijske ose – Root 1 i Root 2 (slike 53 i 54). Rezultati su pokazali da su se individue uzorkovane na istočnoj ekspoziciji odvojile na osnovu većih vrednosti širine lista, one na severoistočnoj ekspoziciji na osnovu većih vrednosti površine lista, dok su individue uzorkovane na severozapadu, jugozapadu i zapadu imale veće vrednosti dužine i zaobljenosti lista.



Slika 53. Kanonijska diskriminantna analiza kategorija ekspozicije. Skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S – jug, SE – jugoistok, E – istok



Slika 54. Kanonijska diskriminantna analiza parametara dobijenih MASS analizom zakategorije ekspozicije

Korelacione matrice (kolor mape) za svaku kategoriju ekspozicije za ceo uzorak (tabela 20) pokazale su postojanje određenih obrazaca varijabilnosti prisutnih kod svih grupa (pozitivna korelacija dužine, širine i površine, cirkularnosti i solidnosti, odnosa dužina/širina i solidnosti, negativna korelacija odnosa dužina/širina i zaobljenosti). Od specifičnih obrazaca varijabilnosti, po grupama su zabeleženi sledeći: jugozapad – pozitivna korelacija širine i zaobljenosti; severoistok – pozitivna korelacija širine i zaobljenosti, površine i zaobljenosti, odnosa dužina/širina i cirkularnosti, odnosa dužina/širina i solidnosti, negativna korelacija solidnosti i dužine, solidnosti i širine, kao i solidnosti i površine; severozapad – pozitivna korelacija dužine i odnosa dužina/širina; istok – pozitivna korelacija odnosa dužina/širina i cirkularnosti.

Tabela 20. Korelacione matrice (kolor mape) za kategorije ekspozicije. Donje polovine matrica predstavljaju Pirsonove koeficijente korelacije, a gornje polovine statistički značajne razlike među parovima (p vrednosti)

Ekspozicija	1 - Dužina	2 - Širina	3 - Površina	4 - Odnos dužina/širina	5 - Fluktuirajuća asimetrija	6 - Zaobljenost	7 - Cirkularnost	8 - Solidnost	
N	*	0,00	0,00				0,00	0,03	1
	0,86	*	0,00	0,01			0,00	0,00	2
	0,96	0,96	*				0,00	0,01	3
	-0,01	-0,49	-0,26	*		0,00		0,02	4
	0,00	-0,06	-0,04	0,12	*				5
	-0,30	0,19	-0,03	-0,90	-0,16	*			6
	-0,57	-0,71	-0,63	0,32	0,05	-0,03	*	0,00	7
	-0,41	-0,61	-0,49	0,44	0,03	-0,11	0,88	*	8
NE	*	0,00	0,00				0,00	0,01	1
	0,90	*	0,00	0,00		0,01	0,00	0,00	2
	0,96	0,97	*	0,01			0,00	0,01	3
	-0,46	-0,79	-0,65	*		0,00		0,02	4
	0,10	0,15	0,16	-0,14	*				5
	0,24	0,61	0,46	-0,94	0,10	*			6
	-0,80	-0,82	-0,81	0,49	-0,18	-0,24	*	0,00	7
	-0,64	-0,74	-0,68	0,56	-0,16	-0,31	0,89	*	8
W	*	0,00	0,00				0,00	0,01	1
	0,82	*	0,00	0,00		0,01	0,01	0,02	2
	0,90	0,96	*	0,01			0,01		3
	-0,16	-0,68	-0,48	*		0,00			4
	-0,37	-0,35	-0,30	0,15	*				5
	-0,07	0,48	0,31	-0,91	-0,05	*			6
	-0,57	-0,53	-0,47	0,22	0,30	0,16	*	0,00	7
	-0,46	-0,45	-0,35	0,25	0,32	0,14	0,92	*	8
NW	*	0,02	0,00		0,04	0,01	0,00		1
	0,62	*	0,00		0,05		0,00	0,00	2
	0,87	0,92	*				0,00	0,01	3
	0,43	-0,42	-0,05	*		0,00			4
	0,04	0,09	0,07	-0,05	*				5
	-0,58	0,25	-0,11	-0,95	0,00	*			6
	-0,69	-0,71	-0,74	0,01	-0,18	0,18	*	0,00	7
	-0,36	-0,65	-0,54	0,34	-0,01	-0,14	0,85	*	8

Ekspozicija	1 - Dužina	2 - Širina	3 - Površina	4 - Odnos dužina/širina	5 - Fluktuirajuća asimetrija	6 - Zaobljenost	7 - Cirkularnost	8 - Solidnost	
SW	*	0,00	0,00				0,00	0,00	1
	0,70	*	0,00	0,00		0,04	0,00	0,00	2
	0,87	0,95	*				0,00	0,00	3
	0,15	-0,58	-0,32	*		0,00			4
	0,25	0,15	0,19	0,13	*		0,03	0,04	5
	-0,32	0,43	0,16	-0,93	-0,17	*			6
	-0,78	-0,64	-0,72	0,03	-0,48	0,20	*	0,00	7
	-0,64	-0,64	-0,65	0,25	-0,45	0,03	0,90	*	8
S	*	0,00	0,00			0,01	0,00	0,00	1
	0,81	*	0,00	0,00		0,02	0,00	0,00	2
	0,93	0,95	*	0,03			0,00	0,00	3
	0,08	-0,50	-0,25	*		0,00		0,01	4
	0,09	0,05	0,09	0,08	*				5
	-0,32	0,26	0,03	-0,91	-0,06	*			6
	-0,69	-0,68	-0,66	0,15	0,07	0,17	*	0,00	7
	-0,42	-0,53	-0,43	0,29	0,03	0,04	0,85	*	8
SE	*	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	1
	0,84	*	0,00	0,03			0,00	0,00	2
	0,94	0,96	*				0,00	0,00	3
	0,22	-0,32	-0,08	*		0,00			4
	0,05	-0,01	0,01	0,15	*				5
	-0,48	0,02	-0,18	-0,90	-0,14	*		0,40	6
	-0,73	-0,74	-0,71	0,08	-0,16	0,27	*	0,00	7
	-0,60	-0,60	-0,55	0,06	-0,19	0,30	0,88	*	8
E	*	0,00	0,00		0,04		0,01		1
	0,84	*	0,00	0,00		0,01	0,01		2
	0,92	0,97	*	0,04			0,01		3
	-0,25	-0,72	-0,56	*		0,00			4
	0,55	0,46	0,50	-0,19	*				5
	0,13	0,62	0,48	-0,94	0,01	*			6
	-0,62	-0,69	-0,63	0,49	-0,43	-0,27	*	0,00	7
	-0,41	-0,46	-0,38	0,35	-0,47	-0,07	0,86	*	8

Skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S – jug,SE – jugoistok, E – istok

4.2. NEUTRALNA VARIJABILNOST

4.2.1. Genetički diverzitet

Standardni parametri genetičkog diverziteta procenjeni su za svaku vrstu hrastova pojedinačno i prikazani su u tabelama 21-25. Kod kitnjaka, medunca i sladuna je na 14 lokusa detektovano ukupno 314 alela, pri čemu je najmanji broj alela, 14, uočen na lokusu PIE239, a najveći, 45, na lokusu QrZAG90. Kod kitnjaka je detektovano ukupno 249 na svim ispitivanim lokusima, kod medunca 238 alela, a kod sladuna 213 alela. Prosečan broj alela po lokusu u celokupnom uzorku iznosio je 16,67 (S.E. = 1,07), prosečan efektivni broja alela po lokusu 8,35 (S.E. = 0,87), a prosečno bogatstvo alela dobijeno po metodi rarefakcije za 98 kopija gena 16,34. Broj privatnih alela je iznosio 29 kod kitnjaka, 34 kod medunca i 18 kod sladuna. Efektivna veličina populacije iznosila je 305,5 (190,2; 719,2) kod medunca, 484,3 (254,8; 3374,5) kod kitnjaka, i ∞ (359,9; ∞) kod sladuna. Vrednost navedenog parametra kod cera, koja je iznosila ∞ (189,8; ∞), mora se uzeti sa rezervom zbog malog broja markera korišćenih za analize, kao i relativnog visokog udela nultih alela u molekularnim podacima (20,11%). Dobijena heterozigotnost kod kitnjaka, medunca i sladuna iznosila je 0,753 (0,053), 0,731 (0,051) i 0,751 (0,053), respektivno, sa prosečnom vrednošću navedenog parametra od 0,745 (S.E. = 0,030). Očekivana heterozigotnost kod kitnjaka, medunca i sladuna iznosila je 0,824 (0,040), 0,834 (0,027) i 0,794 (0,033), respektivno, sa prosečnom vrednošću od 0,817 (S.E. = 0,019). Kod cera, dobijena heterozigotnost iznosila je 0,528 (0,092), a očekivana heterozigotnost 0,778 (0,124). U populacijama svih ispitivanih vrsta hrastova detektovan je statistički značajan višak homozigota.

Tabela 21. Vrednosti parametara genetičkog diverziteta kod kitnjaka

Lokus	N.	A	Ae	H_O	H_E	F
FIR004	52	21	14,383	0,942	0,930	-0,013
PIE239	52	6	1,633	0,231	0,388	0,405
PIE242	52	15	7,480	0,865	0,866	0,001
MAQ4	52	13	6,216	0,596	0,839	0,290
MSQ13	52	13	4,189	0,731	0,761	0,040
QpZAG11	52	13	4,337	0,538	0,769	0,300
QpZAG104	52	28	17,731	0,923	0,944	0,022
QpZAG110	52	19	7,501	0,865	0,867	0,001
QrZAG7	52	19	12,126	0,692	0,918	0,245
QrZAG20	52	18	8,503	0,865	0,882	0,019
QrZAG87	52	15	5,307	0,808	0,812	0,005
QrZAG90	52	36	24,694	0,885	0,960	0,078
QrZAG101	52	21	11,834	0,942	0,915	-0,029
QrZAG108	52	12	3,153	0,654	0,683	0,043
Total/ Prosek	52	17,786	9,220	0,753	0,824	0,100
S.E.	0	1,984	1,704	0,053	0,040	0,038

N. – veličina populacije; A – broj alela; Ae – efektivni broj alela; H_O – dobijena heterooočekivana zigotnost; H_E – heterozigotnost; F – koeficijent inbridinga; S.E. – standardna greška.

Tabela 22. Vrednosti parametara genetičkog diverziteta kod medunca

Lokus	N.	A	Ae	H_O	H_E	F
FIR004	53	20	14,707	0,830	0,932	0,109
PIE239	53	12	2,984	0,509	0,665	0,234
PIE242	53	13	6,120	0,811	0,837	0,030
MAQ4	52	14	6,500	0,500	0,846	0,409
MSQ13	53	13	4,410	0,660	0,773	0,146
QpZAG11	49	17	10,088	0,551	0,901	0,388
QpZAG104	52	25	11,938	0,846	0,916	0,076
QpZAG110	53	18	5,958	0,830	0,832	0,002
QrZAG7	53	17	9,753	0,925	0,897	-0,030
QrZAG20	53	16	9,571	0,849	0,896	0,052
QrZAG87	52	13	3,567	0,769	0,720	-0,069
QrZAG90	52	35	20,641	0,962	0,952	-0,010
QrZAG101	53	19	7,825	0,868	0,872	0,005
QrZAG108	53	6	2,751	0,321	0,637	0,496
Total/ Prosek	52,429	17	8,344	0,731	0,834	0,131
S.E.	0,2	1,825	1,334	0,051	0,027	0,048

N. – veličina populacije; A – broj alela; Ae – efektivni broj alela; H_O – dobijena heterooočekivana zigotnost; H_E – heterozigotnost; F – koeficijent inbridinga; S.E. – standardna greška.

Tabela 23. Vrednosti parametara genetičkog diverziteta kod sladuna

Lokus	N.	A	Ae	H_O	H_E	F
FIR004	55	18	11,415	0,891	0,912	0,024
PIE239	55	9	3,286	0,400	0,696	0,425
PIE242	55	16	7,544	0,891	0,867	-0,027
MAQ4	54	12	4,696	0,593	0,787	0,247
MSQ13	55	16	5,465	0,873	0,817	-0,068
QpZAG11	54	11	2,508	0,537	0,601	0,107
QpZAG104	55	27	16,220	0,945	0,938	-0,008
QpZAG110	55	13	2,307	0,582	0,567	-0,027
QrZAG7	55	13	6,335	0,873	0,842	-0,036
QrZAG20	55	12	6,970	0,873	0,857	-0,019
QrZAG87	55	7	4,130	0,745	0,758	0,016
QrZAG90	55	31	22,575	0,964	0,956	-0,008
QrZAG101	55	18	8,473	0,909	0,882	-0,031
QrZAG108	55	10	2,789	0,436	0,641	0,320
Total/ Prosek	54,857	15,214	7,480	0,751	0,794	0,065
S.E.	0,[illegible]2	1,795	1,548	0,053	0,033	0,041

N. – veličina populacije; A – broj alela; Ae – efektivni broj alela; H_O – dobijena heterooočekivana zigotnost; H_E – heterozigotnost; F – koeficijent inbridinga; S.E. – standardna greška.

Tabela 24. Vrednosti parametara genetičkog diverziteta kod cera

Lokus	N.	A	Ae	H_O	H_E	F
FIR004	58	22	14,285	0,810	0,930	0,129
PIE239						
PIE242	44	12	8,327	0,386	0,880	0,561
MAQ4						
MSQ13	57	6	1,394	0,316	0,283	-0,117
QpZAG11						
QpZAG104						
QpZAG110	57	24	11,340	0,667	0,912	0,269
QrZAG7						
QrZAG20	39	15	8,817	0,462	0,887	0,479
QrZAG87						
QrZAG90						
QrZAG101						
QrZAG108						
Total/ Prosek	51,000	15,800	8,833	0,528	0,778	0,264
S.E.	3,[illegible]2	3,292	2,140	0,092	0,124	0,122

N. – veličina populacije; A – broj alela; Ae – efektivni broj alela; H_O – dobijena heterooočekivana zigotnost; H_E – heterozigotnost; F – koeficijent inbridinga; S.E. – standardna greška.

Tabela 25. Standardni parametri genetičkog diverziteta ispitivanih populacijačetiri vrste hrastova

Vrsta	N.	A	PA	Na (S.E.)	Ae (S.E.)	Ar_{98}	Ne (95% CI)	H_O (S.E.)	H_E (S.E.)	F (S.E.)
kitnjak	52	249	29	17,786 -1,984	9,220 -1,704	17,54	484,3 (254,8; 3374,5)	0,753 (0,053)	0,824 (0,040)	0,100 (0,038)
medunac	53	238	34	17,000 -1,825	8,344 -1,334	16,71	305,5 (190,2; 719,2)	0,731 (0,051)	0,834 (0,027)	0,131 (0,048)
sladun	55	213	18	15,214 -1,795	7,480 -1,548	14,76	∞ (1859,9; ∞)	0,751 (0,053)	0,794 (0,033)	0,065 (0,041)
Total/prosek	160	314	81	16,667 -1,066	8,348 (0,872)	16,34	-	0,745 (0,030)	0,817 (0,019)	0,099 (0,024)
cer	58	79	-	15,800 (3,292)	8,833 (2,140)	-	∞ (189,8; ∞)	0,528 (0,092)	0,778 (0,124)	0,264 (0,122)

N. – veličina populacije; A – broj alela; PA – broj privatnih alela; Na – prosečan broj alela po lokusu; Ae – prosečan efektivni broj alela po lokusu; Ar_{98} – bogatstvo alela po metodi rarefakcije za 98 kopija gena; Ne – efektivna veličina populacije; 95% CI – 95% intervali poverenja; H_O – dobijena heterozigotnost; H_E – očekivana heterozigotnost; F – koeficijent inbridinga; S.E. – standardna greška.

4.2.2. Genetička diferencijacija

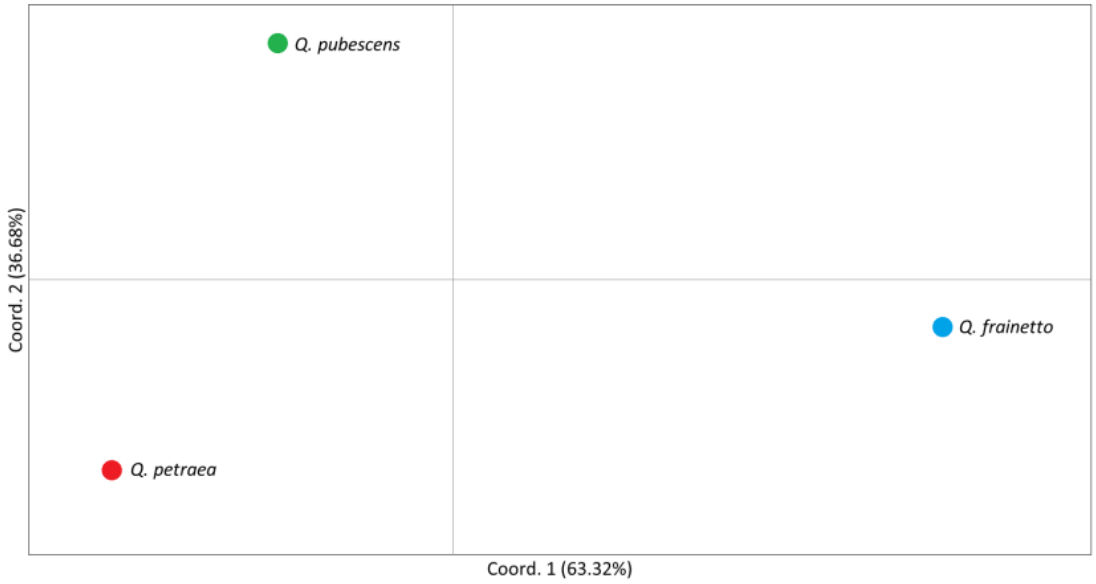
Za bolje razumevanje veza između kitnjaka, medunca i sladuna, Nm i F_{ST} vrednosti su procenjene za sve parove vrsta (tabela 26). Genetička diferencijacija između vrsta bila je niska ali statistički značajna ($p \leq 0,05$), i kretala se od 0,032, između medunca i kitnjaka, do 0,047, između kitnjaka i sladuna. Zbog toga, najveći protok gena je uočen između medunca i kitnjaka (Nm = 7,563), a najmanji (Nm = 5,069) između kitnjaka i sladuna.

Tabela 26. Vrednosti F_{ST} i Nm parametara između parova populacija kitnjaka, medunca isladuna

Vrsta	kitnjak	medunac	sladun
kitnjak	0,000	Nm = 7,563	Nm = 5,069
medunac	F_{ST} = 0,032	0,000	Nm = 6,160
sladun	F_{ST} = 0,047	F_{ST} = 0,039	0,000

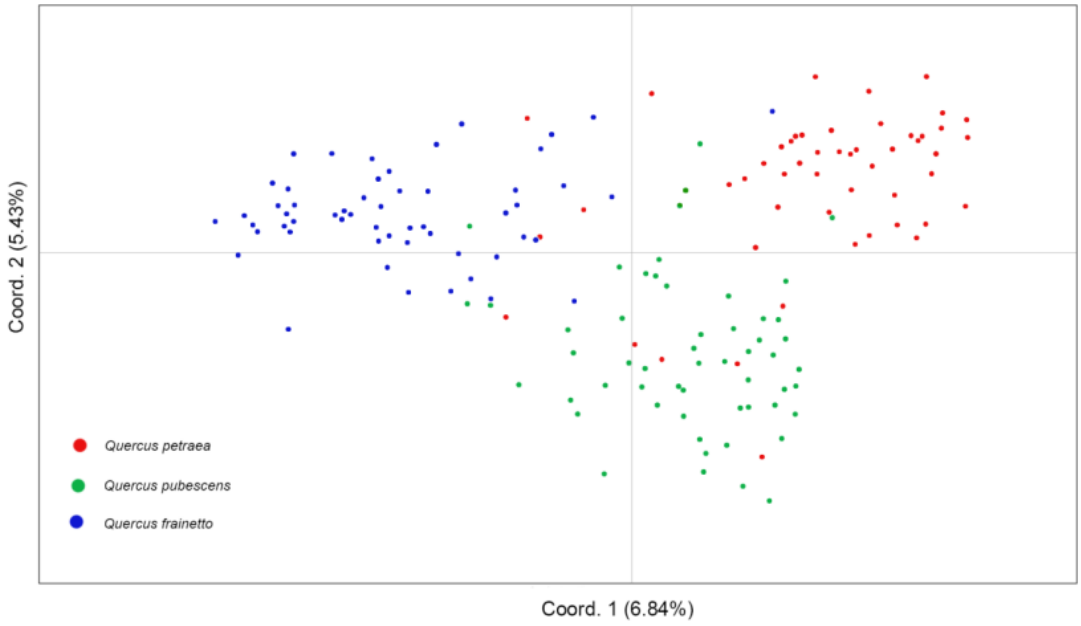
Genetičke distance između populacija kitnjaka, medunca i sladuna, dobijene sumiranjem genetičkih distanci između genotipova u okviru svake od populacija

korišćenjem PCoA analize predstavljene su na slici 55. Prva koordinata objasnila je 63,32% molekularne varijabilnosti, a druga koordinata 36,68% molekularne varijabilnosti. S obzirom da su prva i druga koordinata objasnile čak 100% molekularne varijabilnosti, dobijeni rezultati mogu se smatrati visoko pouzdanim. Datom PCoA analizom utvrđeno je da se sladun odvaja od medunca i kitnjaka po prvoj koordinati, dok je odvajanje medunca i kitnjaka uočeno po drugoj koordinati.



Slika 55. PCoA analiza obavljena na osnovu genetičkih distanci kod kitnjaka (*Q. petraea*), medunca (*Q. pubescens*) i sladuna (*Q. frainetto*)

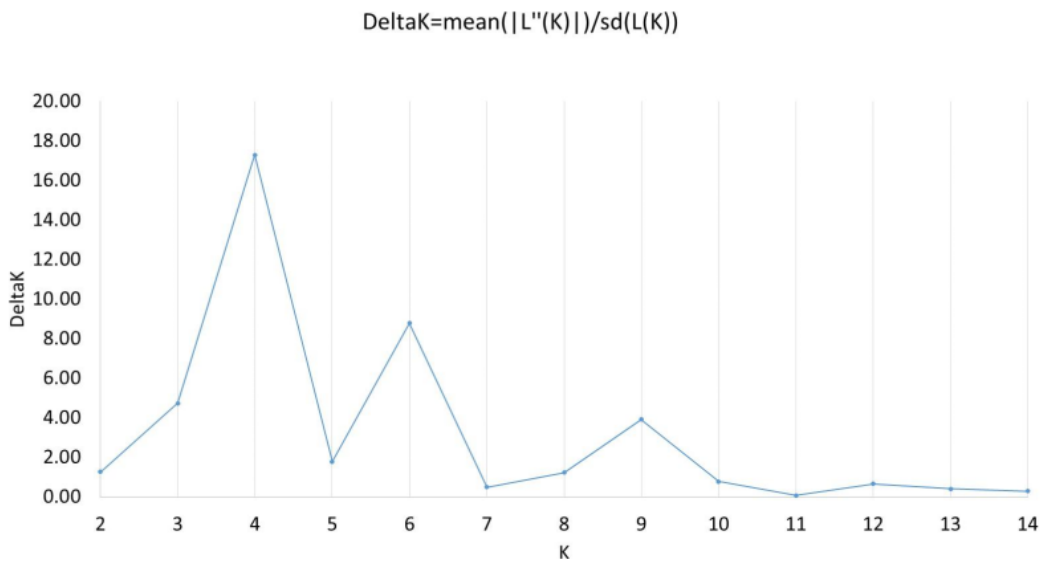
Nakon toga, obavljena je još jedna analiza glavnih koordinata (PCoA), u kojoj su korišćene genetičke distance između pojedinačnih individua kitnjaka, medunca i sladuna (slika 56). U ovom slučaju, prva koordinata objasnila je 6,84% molekularne varijabilnosti, a druga koordinata 5,43% molekularne varijabilnosti. I pored relativno malog procenta ukupne molekularne varijabilnosti koja je objašnjena ovom analizom (12,27%), uočen je isti trend kao i kod prethodne PCoA analize, odnosno, da se sladun odvaja od medunca i kitnjaka po prvoj koordinati, a da se medunac i kitnjak odvajaju po drugoj koordinati.



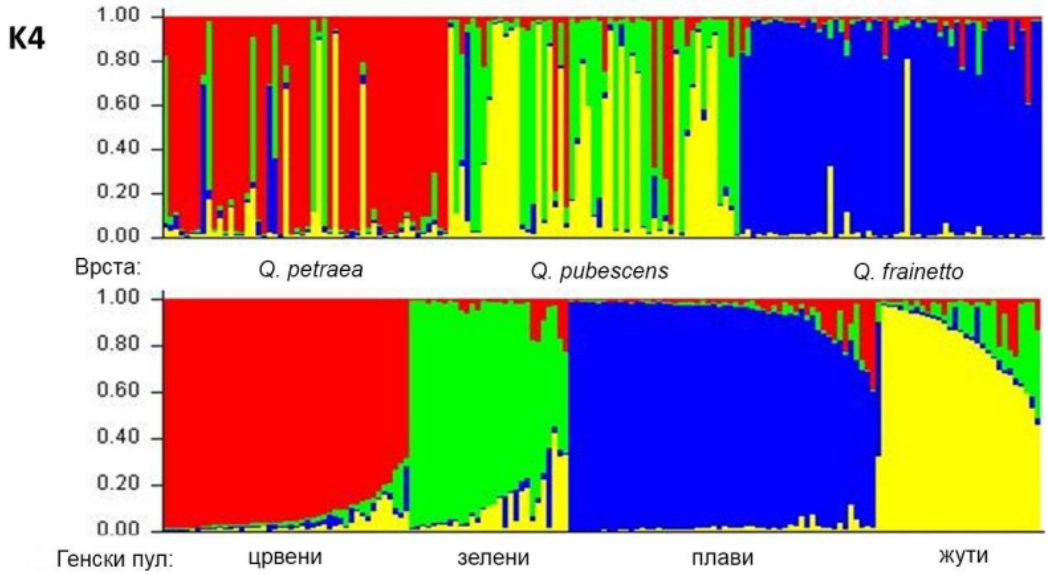
Slika 56. PCoA analiza obavljena na osnovu genetičkih distanci kod kitnjaka (*Quercuspetraea*), medunca (*Quercus pubescens*) i sladuna (*Quercus frainetto*) na nivou individua

4.2.3. Genetička struktura

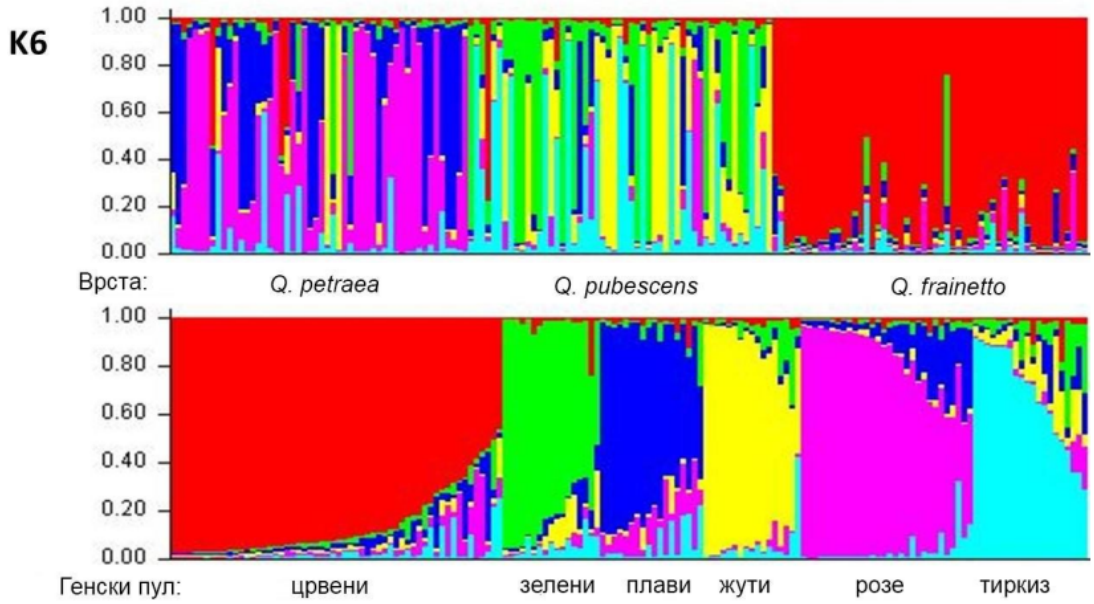
Optimalan broj genetičkih grupa, dobijen korišćenjem ΔK Evanno-vog modela, iznosio je 4 (slika 57). S obzirom da je optimalan broj genetičkih grupa (4) bio veći od broja vrsta (3), dobijeni rezultat ukazao je na postojanje substrukture ispitivanih populacija hrastova. Takođe, uočen je i viši nivo hijerarhijske strukture, na K = 6, odnosno, sa 6 genetičkih grupa ili genskih pulova. Rezultati STRUCTURE analize za optimalan broj od 4 i 6 genetičkih grupa predstavljeni su na slikama 58 i 59. Genski pulovi su radi lakše interpretacije označeni bojama: crveni, plavi, zeleni, žuti, roze i tirkizni genski pul. Individue su predstavljene po pripadnosti određenoj genetičkoj grupi (gornji deo slike 58 za K = 4 i slike 58 za K = 6), a zatim su sortirane po udelu pripadnosti određenom genskom pulu (donji deo slike 58 za K = 4 i slike 59 za K = 6).



Slika 57. Optimalan broj genetičkih grupa kod ispitivanih populacija hrastovautvrđen primenom ΔK Evanno-vog modela



Slika 58. Rezultati STRUCTURE analize za broj genetičkih grupa K = 4



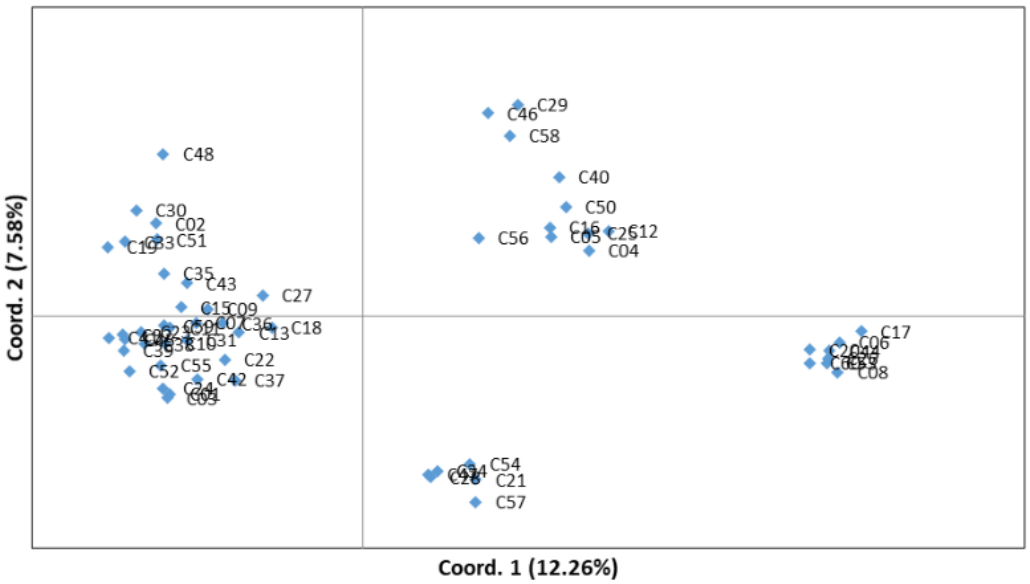
Slika 59. Rezultati STRUCTURE analize za broj genetičkih grupa K = 6

U STRUCTURE analizi za broj genetičkih grupa K = 4 i K = 6, uočeno je da sladun predstavlja koherentnu i distinktnu genetičku grupu koja nije substruktuirana, odnosno, kod koje je najveći broj individua sa visokim udelom pripadnosti svrstan u jedan zaseban genski pul. Za razliku od sladuna, populacije kitnjaka i medunca su substruktuirane, odnosno, sadržale su selekcionisane individue koje jasno pripadaju odvojenim genskim pulovima. U STRUCTURE analize za broj genetičkih grupa K = 4, uočeno je da najveći broj individua kitnjaka sa visokim udelom pripadnosti pripada crvenom genskom pulu, kao i da su sporadično prisutne individue koje su sa visokim udelom pripadnosti svrstane u zeleni, plavi i žuti genski pul. U STRUCTURE analizi za broj genetičkih grupa K = 6, međutim, jasnije se uočava substruktura populacije kitnjaka, jer je veći broj individua ove vrste sa visokim udelom pripadnosti pripada kako plavom, tako i roze genskom pulu, a sporadično su prisutne i individue koje su sa visokim udelom pripadnosti svrstane u žuti i zeleni genski pul. Stoga se može reći da se populacija kitnjaka na području PIO „Kosmaj" sastoji od dve zasebne genetičke grupe.

U STRUCTURE analizi za broj genetičkih grupa K = 4, uočeno je da veći broj individua medunca sa visokim udelom pripadnosti pripada zelenom i žutom genskom pulu, kao i da su sporadično prisutne individue koje su sa visokim udelom pripadnosti svrstane u crveni i plavi genski pul. Kada se posmatraju rezultati STRUCTURE analize za broj genetičkih grupa K = 6, uočavaju se individue medunca koje su sa visokim udelom pripadnosti svrstane u još jedan, treći genski pul. Dobijeni rezultati ukazuju na izraženu substrukturu ispitivane populacije medunca na području PIO „Kosmaj", koja se sastoji od tri zasebna genska pula.

U PCoA analizi kod cera (slika 60) objašnjeno je 19,84% molekularne varijabilnosti, i to 12,26% prvom koordinatom i 7,58% drugom koordinatom. U dvodimenzionalnom prostoru definisanom prvom i drugom koordinatom uočavaju se tri

zasebne grupe selekcionisanih individua cera koje se prvoj koordinati odvajaju od četvrte grupe, koja se odlikuje većim nivoom genetičkog diverziteta, pošto skorovi ovih individua zauzimaju veću površinu na levoj strani grafikona. Ova grupa je po drugoj koordinati podeljena na dve podgrupe. Po drugoj koordinati se uočava i razdvajanje grupa koje su rasute po desnoj strani grafikona. Dobijeni rezultati ukazuju na izraženu genetičku strukturu ispitivane populacije cera.



Slika 60. PCoA analiza obavljena na osnovu genetičkih distanci za cer

4.3. FAKTORI UGROŽAVANJA ŠUMSKIH GENETIČKIH RESURSA NA PODRUČJU PIO „KOSMAJ”

Na području PIO „Kosmaj” evidentirani su brojni negativni uticaju na stanje populacija šumskih drvenastih vrsta, kao i biodiverziteta uopšte, kao što su gubitak staništa (slika 61), negativan uticaj seče i krčenja koji za posledicu ima postojanje šuma uglavnom izdanačkog porekla (slika 62), uništavanje staništa eksploatacijom mineralnih sirovina (slika 63), veliki uticaj klimatskih promena koji za posledicu ima sušenje stabala (slika 64), erozija zemljišta (slika 65) i slično, naglašavajući neophodnost zaštite pomenutog područja.

Gubitak i degradacija staništa je najvećim delom uzrokovana proširenjem poljoprivrednog zemljišta i ljudskih naselja, intenzivnom sečom šuma radi dobijanja ogreva i drugih proizvoda od drveta, kao i prekomernom ispašom. Seče šuma i šumski požari dovode do uništavanja staništa različitih šumskih vrsta, što uslovljava pojavu sekundarnih ekosistema, koji se odlikuju smanjenom raznovrsnošću biljnih i životinjskih vrsta. Šumski kompleksi se dele na veći broj manjih delova među kojima je otežana komunikacija, što dalje dovodi do smanjenja genetičkog diverziteta zbog smanjene razmene gena. Izdeljenost i smanjenje prirodnih populacija dovodi i do poremećaja unutar samog ekosistema i vrsta koje su njegov sastavni deo. Pored toga, fragmentacija šuma dovodi do formiranja malih i reproduktivno izolovanih populacija, gde inbriding može smanjiti genetičku raznovrsnost i dovesti do genetičke erozije (Nonić & Šijačić-Nikolić, 2021; Nonić et al., 2020). Na Kosmaju, brojni faktori utiču na gubitak šumskih staništa (slika 61). Protivpravna gradnja u vidu podizanja kuća, vikendica i ugostiteljskih objekata, obzirom na relativno malu udaljenost od Beograda, posebno je izražena na Kosmaju (Filipović & Obradović-Arsić, 2011). U pojedinim slučajevima, gradilišta su prisutna u neposrednoj blizini ili u okviru šuma, dovodeći do degradacije ekosistema u celini.



Slika 61. Gradilište koje ulazi direktno u šumu (lokalitet Košutica) na Kosmaju(*autor*: Šijačić-Nikolić, 2022)

Šumski požari (prirodnog ili antropogenog porekla) su još jedan od faktora koji utiče na gubitak staništa. Šume i šumska zemljišta na Kosmaju su, u zavisnosti od stepena ugroženosti od požara, svrstane u šest kategorija: I stepen – sastojine i kulture bora i ariša, II stepen – sastojine i kulture smrče, jele i drugih četinara, III stepen – mešovite sastojine i kulture lišćara i četinara, IV stepen – sastojine i kulture hrasta i graba, V stepen – sastojine bukve i drugih lišćara, VI stepen – šikare, šibljaci i neobrasle površine. Najveći deo površine Kosmaja spada u IV stepen ugroženosti od požara (sastojine hrasta i graba). Generalno, sastojinska pripadnost pokazuje slabu ugroženost šumskog kompleksa od požara, iako se dešavaju (uglavnom manji) požari u graničnom delu sa poljoprivrednim površinama. Opasnost od požara preti četinarskim i mešovitim zajednicama lišćara i četinara od turista i okolnih vikendica, usled paljenja otvorene vatre (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020).

Šume Kosmaja su većinom izdanačkog porekla (slika 62), nastale kao posledica masovnih seča u toku Drugog svetskog rata. Samo mali deo predstavljaju visoke mlađe sastojine, što čini stanje šuma na ovom području veoma nezadovoljavajućim. Osnovne karakteristike izdanačkih šuma su smanjena proizvodnost, nedovoljno korišćenje potencijala zemljišta, izrazito nepovoljna starosna struktura, kao i loše zdravstveno stanje individua. Izdanačke šume nemaju zadovoljavajući stepen genetičke raznovrsnosti (jer iz izdanaka jednog stabla nastaje nekoliko novih, koja su genetički

identična), kako bi bile sposobne da se prilagode naglim promenama uslova sredine. Genofond izdanačkih populacija je siromašan i takve populacije ne poseduju visok stepen adaptabilnosti, odnosno sposobnosti prilagođavanja izmenjenim uslovima staništa. Ovo čini konverziju izdanačkih u visoke sastojine autohtonih vrsta prioritetnom aktivnošću na datom području (Milovanović & Šijačić-Nikolić, 2009; Jović et al., 2014).



Slika 62. Izdanačko poreklo šuma na Kosmaju (*autor*: Šijačić-Nikolić, 2022)

U upravljanju ekosistemima poseban izazov predstavljaju alohtone vrste koje su namerno introdukovane u ekosistem da bi obezbedile ekonomsku, ekološku ili društvenu korist. Ove vrste mogu predstavljati važan ugrožavajući faktor u oblasti šumarstva, jer mnoge vrste drveća koje se koriste za agrošumarstvo, komercijalno šumarstvo i kontrolu dezertifikacije nisu autohtone za datu oblast. Od vitalnog je značaja osigurati da takve vrste služe svrsi za koju su introdukovane i da ne ispoljavaju negativne efekte na prirodne ekosisteme. Prekomerno širenje introdukovanih vrsta može ugroziti genetički diverzitet prirodnih populacija njihovim potiskivanjem sa određenih staništa, što izaziva fragmentaciju i izolaciju prirodnih populacija.

Jedan od ugrožavajućih faktora šumskih ekosistema na Kosmaju je potiskivanje autohtonih šumskih zajednica zajednicama introdukovanih vrsta, što je i zabeleženo

kod većeg broja veštački podignutih sastojina. U pojedinim odeljenjima, pensilvanijski jasen se proširio na velikim površinama, gotovo potpuno potiskujući autohtone lišćarske vrste. Od četinarskih vrsta prisutni su crni bor, beli bor, duglazija, smrča, atlanski kedar, borovac i kalifornijska jela koje se, takođe, javljaju u veštački podignutim sastojinama (Stajić, 2016).

Zagađenje je jedan od značajnih faktora koji negativno utiče na stanje šumskih ekosistema. Zagađivači mogu oštetiti selekcionisane individue direktno preko listova i indirektno preko zemljišta. Direktni efekti O_3, SO_2, NO_2 i NH_3 uključuju vidljiva oštećenja listova i veće koncentracije zagađivača u biljnim tkivima. Indirektno, štetne materije iz vazduha, rastvorene u vodi, dospevaju u zemljište, a time i u biljna tkiva. Zagađenje utiče na genofond šumskih vrsta, smanjujući produkciju polena, vitalnost semena ili razvoj nadzemnog i podzemnog dela biljaka (Longauer et al., 2004; Nonić & Šijačić-Nikolić, 2021; Nonić et al., 2020). Eksploatacija mineralnih sirovina je jedan od problema koji je naročito izražen na Kosmaju (slika 63). Takođe, veliki broj divljih deponija dodatno ugrožava stanje životne sredine. Lokalno stanovništvo odlaže otpad u divlje deponije, vrlo često u šumama, na periferiji seoskih naselja i pored putnih pravaca, što predstavlja opasnost po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Pored toga, nesavesni posetioci i pored postavljenih mesta za odlaganje otpada (korpe i kontejneri), zagađuju okolinu odlažući otpad na površine koje za to nisu namenjene (Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020).



Slika 63. Kamenolom i divlja deponija na Kosmaju (lokalitet Košutica) (*autor*: Jovanović, 2022)

Klimatske promene su jedna od najuočljivijih posledica rasta ljudske populacije i njenog uticaja na životnu sredinu. Klimatske promene čine da faktori koji dovode do genetičke erozije budu posebno pojačani. Šume igraju ključnu ulogu u globalnom kruženju ugljenika, i uključujući i zemljište, poseduju značajan kapacitet vezivanja i

oslobađanja ugljenika. Šumski genetički resursi podležu klimatskim promenama što dovodi do značajnog smanjenja njihove vitalnosti, otpornosti, mogućnosti za adaptaciju i postepenog propadanja. Struktura i dinamika šuma je pod značajnim uticajem klimatskih promena, pre svega usled povećanja prosečnih godišnjih temperatura i ekstremnih klimatskih događaja (Ledig, 1992; Nonić & Šijačić-Nikolić, 2021; Nonić et al., 2020).

Rastuće temperature i promenjen padavinski režim povećavaju intenzitet i učestalost pojave štetočina, što dalje dovodi do smanjenja genetičkog diverziteta šuma. Na Kosmaju su zabeležene pojave sušenja različitih vrsta četinara i lišćara. Utvrđeno je i prisustvo velikog i malog srčikara (*Myelophilus piniperda*, *Myelophilus minor*), kao i više vrsta potkornjaka. Još jedan od mogućih uzroka sušenja je starost ili fiziološka oslabljenost individua, zbog čega one postaju podložne za razvoj sekundarnih štetočina. Na Kosmaju je u manjoj meri je primećeno slabljenje sastojina smrče i duglazije. Kod sastojina cera i bukve primećeno je slabljenje u sastojinama odmakle starosti u vidu pojava pojedinačnog sušenja (slika 64).



Slika 64. Sušenje starih i oslabljenih stabala medunca na Kosmaju (*autor*: Šijačić-Nikolić, 2022)

Prekomerna eksploatacija šumskih resursa predstavlja veliku pretnju biodiverzitetu zbog štetnih uticaja koje može imati na životnu sredinu. Glavni efekat koji eksploatacija ima na šume je neplansko i nekontrolisano uništavanje (seča)

šuma, koja dovodi do fragmentacije staništa a time i do gubitka genetičkog diverziteta (Ledig, 1992).

Zahtevi u pogledu zadovoljavanja potreba stanovništva za ogrevnim i tehničkim drvetom su daleko iznad mogućnosti postojećih kapaciteta na Kosmaju. Ovo je dovelo do potrebe za maksimalnom proizvodnjom drveta, u skladu sa postojećim stanjem šuma i planovima predviđenim osnovom gazdovanja šumama. Dosadašnji zahtevi su se uglavnom odnosili na potrebu za obezbeđivanjem lokalnog stanovništva za ogrevnim drvetom. Položaj šuma i njihova namena, s obzirom da je Kosmaj zaštićeno prirodno dobro (Predeo izuzetnih odlika "Kosmaj") i turističko-rekreativna funkcija u velikoj meri su potisnuli proizvodnu funkciju šuma. Ipak, nekontrolisano i neplansko sečenje šuma je i dalje prisutno. Na Kosmaju su čak evidentirane i čiste seče na manjoj površini koje dovode do erozije zemljišta (slika 65). Zbog blizine naselja, bespravne seče su veliki problem na Kosmaju, u podjednakoj meri i u državnim i u privatnim šumama (Filipović & Obradović-Arsić, 2011; Plan upravljanja PIO „Kosmaj", 2020).



Slika 65. Erozija zemljišta nakon seče šume na Kosmaju (*autor*: Šijačić-Nikolić, 2022)

4.4. CILjEVI, PRIORITETI I MERE OČUVANjA GENETIČKIH RESURSA HRASTOVA NA PODRUČJU PIO „KOSMAJ”

Šijačić-Nikolić et al. (2016) su procenili glavne prioritete i mere očuvanja šumskihgenetičkih resursa na nacionalnom nivou u skladu sa faktorima koji ih ugrožavaju:

- širenje znanja o negativnim uticajima na šumske genetičke resurse i razvojprograma sa merama za smanjenje istih,
- sprovođenje mera *ex situ* očuvanja šumskih genetičkih resursa,
- sprovođenje mera *in situ* očuvanja šumskih genetičkih resursa,
- zaštita od patogena i bolesti,
- zaštita od potencijalnih požara,
- zaštita od zagađenja.

U okviru širenja znanja o negativnim uticajima na šumske genetičke resurse i razvijanja programa za njihovo smanjivanje ključno je izraditi dugoročni program istraživanja štetnih uticaja, sprovesti procenu ranjivosti retkih i ugroženih vrsta šumskog drveća, konstruisati dugoročni program proučavanja adaptabilnosti šumskih genetičkih resursa na promene staništa, analizirati genetičku varijabilnost zajedno sa ranjivošću populacija šumskog drveća na patogene i bolesti, kao i zajedno sa osetljivošću populacija na zagađenje.

U okviru sprovođenja mera *ex situ* očuvanja šumskih genetičkih resursa važno je izraditi dugoročni program *ex situ* konzervacije, odrediti listu prioritetnih vrsta šumskog drveća za uključivanje u programe očuvanja i oplemenjivanja. Pored pomenutog, ključno je prikupljanje materijala koji potiče od starih individua koja imaju dobar adaptivni potencijal (radi čuvanja u bankama gena), kao i prikupljanje reproduktivnog materijala individua iz ugroženih populacija radi proizvodnje dovoljno kvalitetnog sadnog materijala.

U okviru sprovođenja mera *in situ* očuvanja šumskih genetičkih resursa od ključnog je značaja identifikovanje retkih i ugroženih prioritetnih vrsta za konzervaciju, očuvanje vrlo retkih individua sa izraženim adaptivnim potencijalom, kao i promovisanje smanjenja uništavanja i fragmentacije šuma.

U okviru mera zaštite šumskih genetičkih resursa u odnosu na širenje patogena i bolesti važno je sakupiti informacije o pojavi i toku njihovih populacionih nivoa i preduzeti mere u adekvatnom roku radi smanjenja štete, kao i izbegavanje formiranja zasada korišćenjem genetički homogenog materijala.

U okviru mera zaštite šumskih genetičkih resursa u odnosu na šumske požare, važno je pratiti klimatske promene u cilju procene opasnosti od pojave potencijalnih požara, uvođenje dežurstava u šumskim gazdinstvima i upravama, kao i obezbediti prohodnost puteva.

U okviru mera zaštite šumskih genetičkih resursa u odnosu na zagađenje, neophodno je proceniti celokupni uticaj zagađenja na biološku raznovrsnost, razviti bioindikatore za monitoring delovanja zagađenja i izvršiti reviziju zakonskih mera koje se odnose na sprečavanje i kontrolu zagađenja.

Šijačić-Nikolić et al. (2016) su, takođe, odredili prioritete i mere unapređenja zakonskih okvira za očuvanje šumskih genetičkih resursa koje uključuju:

- aktivno učešće državnih institucija i državnih organizacija u internacionalnim procesima i inicijativama koje se odnose na očuvanje šumskihgenetičkih resursa,
- unapređenje ciljeva strategija razvoja šumarstva sa posebnim isticanjem holističkog pristupa gazdovanja šumama,
- unapređenje zakonskih okvira u oblasti očuvanja šumskih genetičkih resursa,
- unapređenje programskih okvira koji se tiču očuvanja šumskih genetičkih resursa na lokalnom i širem, nacionalnom nivou,
- razvoj sistema monitoringa i procene aktuelnog stanja šumskih genetičkih resursa.

U okviru mera za aktivno učešće državnih institucija i državnih organizacija u internacionalnim procesima i inicijativama očuvanja šumskih genetičkih resursa važno je sprovođenje mera procesa Ministarske konferencije o zaštiti šuma u Evropi (*Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe*, MCPFE), nastaviti aktivno učešće u EUFORGEN programu (*European Forest Genetic Resources Programme*) i izraditi dugoročni akcioni plan državnih institucija u internacionalnim procesima, uz praćenje i adekvatnu izmenu lokalnih, nacionalnih i internacionalnih zakonskih i strateških okvira.

U okviru mera za unapređenje ciljeva strategija razvoja šumarstva sa isticanjem holističkog pristupa u gazdovanju šumama važno je revidirati i uskladiti strategiju razvoja šumarstva Republike Srbije sa strategijom razvoja šumarstva Evropske unije.

U okviru unapređenja zakonskih okvira u oblasti očuvanja šumskih genetičkih resursa, važno je usklađivanje zakonskih okvira u oblasti upravljanja reproduktivnim materijalom šumskih drvenastih vrsta, procena postojećih sistema regiona provenijencija vrsta šumskog drveća u odnosu na potrebe ublažavanja posledica promena uslova sredine i njihovog prilagođavanja na iste, kao i revidiranje i usklađivanje postojećih pravilnika u radi boljeg integrisanja očuvanja šumskih genetičkih resursa u sistem gazdovanja šumama.

U okviru unapređenja programskih okvira koji se tiču očuvanja šumskih genetičkih resursa na lokalnom i nacionalnom nivou potrebno je izgraditi programe očuvanja šumskih genetičkih resursa u oblastima zaštićenih prirodnih dobara i na drugim specifičnim staništima, izraditi program *ex situ* očuvanja, kao i kombinovati pristupe *in situ* i *ex situ* metoda u očuvanju šumskih genetičkih resursa.

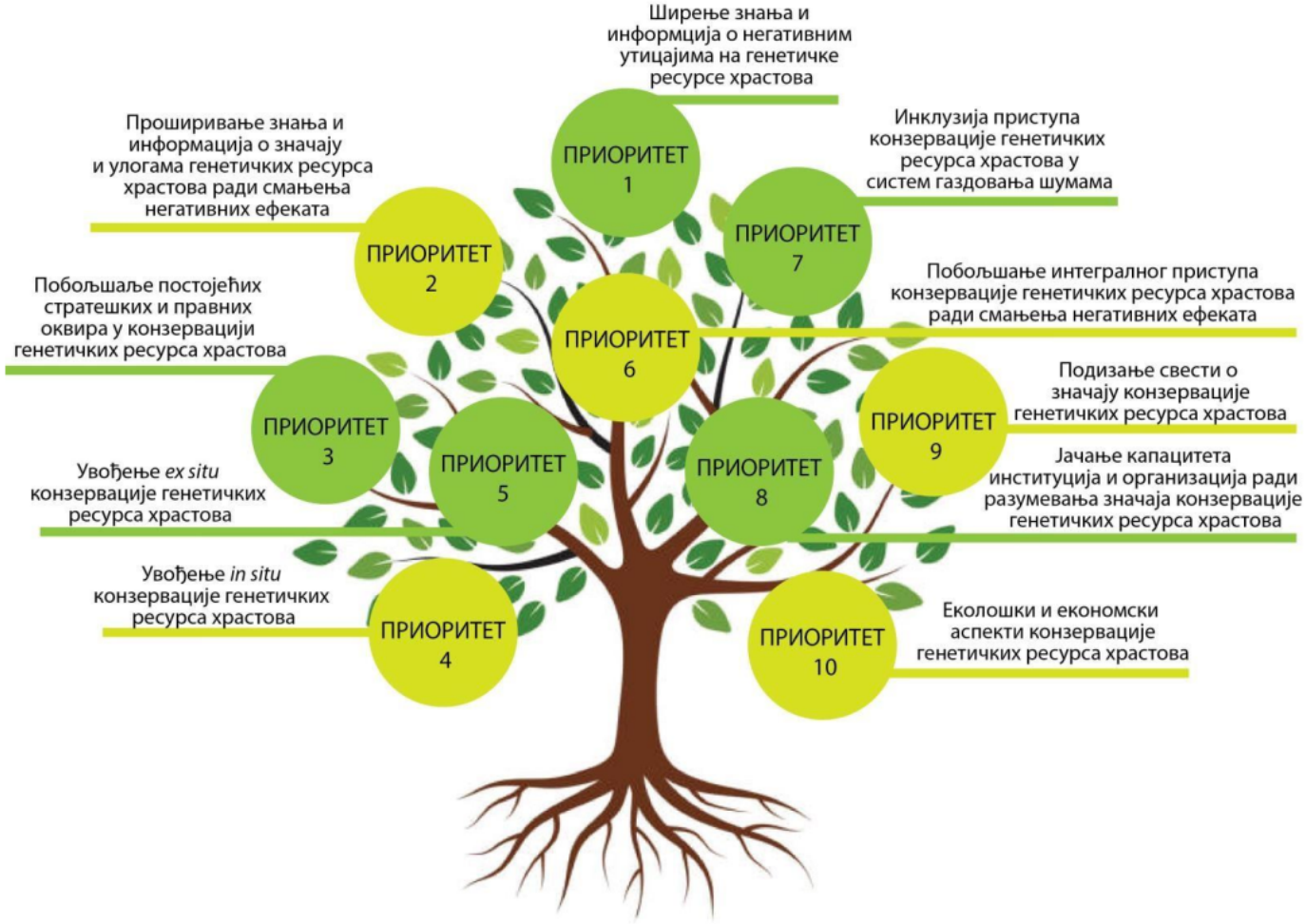
U okviru razvoja sistema monitoringa i procene trenutnog stanja šumskih genetičkih resursa potrebno je izraditi smernice sa jasno definisanim indikatorima neophodnim za procenu stanja šumskih genetičkih resursa na nacionalnom nivou i inicirati međusektorsku saradnju radi razvoja sveobuhvatnog sistema monitoringa i procene stanja šumskih genetičkih resursa.

Po uzoru na definisane prioritete i mere očuvanja šumskih genetičkih resursa na nacionalnom nivou, a na osnovu prikazanih rezultata istraživanja adaptivne i neutralne varijabilnosti različitih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj", izvršena je karakterizacija ekološkog i konzervacionog statusa istraživanih vrsta i definisane su konkretne mere konzervacije, kao i principi gazdovanja populacijama hrastova u ovom zaštićenom prirodnom dobru. Detaljan prikaz ciljeva, mera i prioriteta gazdovanja populacijama hrastova na području PIO „Kosmaj" prikazan je u prilozima 19-23.

S obzirom na veliki broj negativnih faktora koji deluju na teritoriji PIO „Kosmaj”, opšti ciljevi konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastovasumirani su na sledeći način:

1) istraživanje i edukacija u oblasti konzervacije genetičkih resursa hrastova,
2) strateški, zakonski i programski okviri konzervacije genetičkih resursahrastova,
3) međunarodna i međusektorska saradnja u konzervaciji genetičkih resursahrastova,
4) jačanje kapaciteta i širenje informacija o konzervaciji genetičkih resursahrastova,
5) sprovođenje i praćenje nacionalnog programa konzervacije genetičkih resursa hrastova.

Prikaz glavnih prioriteta zaštite genetičkih resursa istraživanih vrstahrastova na području PIO „Kosmaj” prikazan je na slici 66.



Slika 66. Prioriteti konzervacije populacija istraživanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj"

Prioritet 1 – **širenje znanja i informacija o negativnim uticajima na genetičke resurse istraživanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) razvoj dugoročnih programa istraživanja uticaja negativnih efekata na genetičke resurse hrastova, 2) razvoj smernica za uključivanje prioritetnih vrsta u programe istraživanja uticaja negativnih efekata na genetičke resurse hrastova, 3) procena ranjivosti retkih i ugroženih vrsta hrastova, 4) sprovođenje procene uticaja različitih sistema gazdovanja na genetičke resurse hrastova, kao i 5) istraživanje mogućnosti primene različitih modela i scenarija za potrebe procene ranjivosti genetičkih resursa hrastova.

Prioritet 2 – **proširivanje znanja i informacija o značaju i ulogama genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova radi smanjenja negativnih efekata na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) razvoj dugoročnih programa istraživanja adaptabilnosti hrastova na promene u životnoj sredini, 2) istraživanje potencijala hrastova za skladištenje ugljenika, 3) istraživanje neutralne i adaptivne varijabilnosti hrastova, radi definisanja adaptacionih mehanizama na različitim staništima, 4) komparativna analiza stepena genetičke varijabilnosti i ranjivost populacija hrastova na bolesti i štetočine, kao i 5) komparativna analiza stepena genetičke varijabilnosti hrastova i kvaliteta drugih odlika staništa, kao što su zemljište, voda, vazduh i biodiverzitet.

Prioritet 3 – **poboljšavanje postojećih strateških i pravnih okvira u konzervaciji genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) unapređenje i usklađivanje strateških ciljeva razvoja šumarstva sa novim strateškim dokumentima Evropske unije, sa naglaskom na holistički pristup u gazdovanju šumama, 2) procena postojećih sistema regiona provenijencije hrastova u odnosu na potrebe adaptacija i smanjenja negativnih efekata, kao i 3) usklađivanje pravnih okvira povezanih sa gazdovanjem reproduktivnim materijalom hrastova i potrebama potpomognute migracije genetičkog materijala u skladu sa uticajem negativnih efekata.

Prioritet 4 – **uvođenje *in situ* konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) razvoj programa genetičke konzervacije hrastova na teritoriji zaštićenog područja i na specifičnim staništima, 2) uključivanje PIO „Kosmaj" u mrežu zaštićenih područja i u sistem njihovog monitoringa, kao i 3) razvoj sistema monitoringa uticaja negativnih efekata na genetičke resurse hrastova u okviru zaštićenog područja.

Prioritet 5 – **uvođenje *ex situ* konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova sa područja PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) razvoj dugoročnih programa *ex situ* konzervacije genetičkih resursa hrastova, 2) identifikacija liste prioriteta vrsta hrastova i njihovih karakteristika za uključivanje u intenzivne *ex situ* konzervacione programe, 3) procena adaptivne sposobnosti prioritetnih vrsta na nivou individua u odabranim populacijama, kao i 4) definisanje smernica za formiranje eksperimentalnih populacija i banaka gena u cilju konzervacije adaptivne varijabilnosti istraživanih vrsta hrastova.

Prioritet 6 – **poboljšanje integralnog pristupa konzervaciji genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova radi smanjenja negativnih efekata na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) razvoj dugoročnih programa i integralnog pristupa konzervaciji genetičkih resursa hrastova na osnovu adekvatne

kombinacije *in situ* i *ex situ* metoda i kooperacije među sektorima, 2) razvoj smernica za uvođenje metode MBPS (*Multiple Population Breeding System*, konzervaciona metoda u kojoj je populacija sa funkcijom genetičke konzervacije podeljena u subpopulacije, od kojih svaka ima efektivnu veličinu od oko 50 selekcionisanih individua) kao efikasnog načina za suzbijanje negativnih efekata, kao i 3) uvođenje modernih softvera za modeliranje ekosistemskih procesa povezanih sa promenama životne sredine u sistemima gazdovanja šumama.

Prioritet 7 – **inkluzija pristupa konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova u sistem gazdovanja šumama na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) razvoj smernica za uključivanje procene ranjivosti i adaptabilnosti prioritetnih vrsta hrastova u procese planiranja gazdovanja šumama, 2) razvoj smernica za alokaciju i upravljanje genetičkim zonama u šumskim ekosistemima kako bi se poboljšala adaptabilnost vrsta hrastova, kao i 3) razvoj smernica za procenu i očuvanje genetičke varijabilnosti privatnih šumskih poseda i približavanje značaja genetičkih resursa hrastova korisnicima i vlasnicima šuma.

Prioritet 8 – **jačanje kapaciteta institucija i organizacija radi razumevanja značaja konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) poboljšanje znanja zaposlenih u državnoj administraciji i javnim upravama o neophodnosti usklađenog gazdovanja šumama kroz konzervaciju genetičkih resursa hrastova, 2) poboljšanje veština zaposlenih u javnim upravama za primenu savremenih softverskih alata za modeliranje ekosistemskih procesa povezanih sa promenama u životnoj sredini, kao i 3) podsticanje međusektorske saradnje radi boljeg razumevanja značaja i planiranja aktivnosti vezanih za konzervaciju genetičkih resursa hrastova.

Prioritet 9 – **podizanje svesti o konzervaciji genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere; 1) razjašnjavanje koncepata genetičkih resursa hrastova vlasnicima privatnih poseda pod šumskom vegetacijom i podsticanje razvoja svesti njihove konzervacije kako bi se smanjio uticaj štetnih faktora, 2) izrada informativnog i edukativnog materijala vezanog za samo zaštićeno područje i za značaj *in situ* konzervacije genetičkih resursa hrastova, 3) uključivanje zaštićenog područja i programa konzervacije u edukativne i turističke aktivnosti, 4) mapiranje *ex situ* konzervacionih tačaka i razvoj edukativnih i informacionih programa za upoznavanje sa ovim tipom konzervacije genetičkih resursa hrastova, kao i 5) kreiranje internet portala vezanog za značaj očuvanja genetičkih resursa hrastova, na kome su predstavljeni svi kapaciteti konzervacije.

Prioritet 10 – **ekološki i ekonomski aspekti konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj"** uključuje sledeće mere: 1) razvoj smernica za ekološku i ekonomsku procenu genetičkih resursa hrastova i njihovu konzervaciju, 2) razvoj smernica za procenu troškova i prihoda konzervacionih programa i izbor optimalnih modela konzervacije diverziteta hrastova, kao i 3) razvoj dugoročnih programa finansiranja konzervacije genetičkih resursa hrastova i identifikovanje potencijalnih izvora finansiranja.

5. DISKUSIJA

Analiza adaptivne varijabilnosti, prikazana na osnovu veličine i oblika lista izabranih vrsta hrastova sa područja PIO „Kosmaj", pokazala je specifične obrasce varijabilnosti u uzorku. Rezultati su pokazali da i veličina i oblik utiču na morfološku varijabilnost, sugerišući da se ove dve komponente moraju zajedno proučavati. Istraživanje morfološke varijabilnosti lista hrastova na području PIO
„Kosmaj" predstavlja svojevrsni izazov, jer je uočene obrasce potrebno interpretirati na relativno maloj prostornoj razmeri, od nešto više od 3.500,00 hektara. Uočene su značajne razlike u veličini i obliku lista između četiri proučavane vrste hrastova, prisustvo različitih nivoa fluktuirajuće asimetrije, kao i jasni obrasci međuvrsne varijabilnosti u uzorku, koji su u skladu sa do sada publikovanim istraživanjima hrastova na teritoriji Evrope i šire.

Rezultati su pokazali da se kod svih analiziranih vrsta hrastova sa porastom dužine, povećavaju širina i dužina lista. Takođe, kod svih vrsta, osim kod sladuna, veći listovi su se pokazali kao manje zaobljeni i sa slabije izraženim režnjevima. Na međuvrsnom nivou, jasni obrasci varijabilnosti su uočeni: uzak gornji i širok donji deo lisne ploče i kratka lisna drška kod sladuna, uska i zašiljena lisna ploča kod cera, kao i dugačka lisna drška i mala razlika između širine gornjeg i donjeg dela lisne ploče. Ovo je u skladu sa literaturnim podacima koji ukazuju da su upravo navedene razlike u obliku glavna diskriminativna svojstva za razlikovanje vrsta (Sterry, 2007; de Rigo et al., 2016; Eaton et al., 2016; Mauri et al., 2016; Pasta et al., 2016).

Najveće variranje kod četiri proučavane vrste hrastova opservirano je u pogledu fluktuirajuće asimetrije. Fluktuirajuća asimetrija se koristi u proceni uticaja stresa okoline na razvojnu stabilnost individua merenjem malih slučajnih odstupanja od savršene bilateralne simetrije (Ivanković Tatalović et al., 2020). Zapravo, povećana fluktuirajuća asimetrija morfoloških osobina javlja se pod stresnim uslovima životne sredine i genetičkim perturbacijama, koji dovode do smanjenja razvojne homeostaze.

U idealnim sredinama, biljke se odlikuju razvojnom stabilnošću, odnosno sposobnošću genotipa da stvori određeni tip fenotipa u datoj sredini. Međutim, kod većine biljaka javlja se razvojna nestabilnost, kao rezultat adaptacije na stresne uslove sredine (Cornelissen et al. 2003; Kusi, 2013). Odlike oblika lista, analizirane kao simetrične karakteristike, su indikacija specifičnih genotipova i mogu biti korisne za opisivanje i istraživanje morfoloških obrazaca variranja i kod čistih vrsta i kod njihovih hibrida (Viscosi, 2015). Većina istraživanja bilateralne simetrije pokazala je da prisustvo fluktuirajuće asimetrije kod simetričnih karakteristika organizma predstavlja indikator stresa ili odgovor na stres u životnoj sredini (Cornelissen et al., 2003; Puerta-Pinero et al., 2008; Tucić & Miljković, 2010). Asimetrični listovi su nađeni kod pojedinih vrsta hrastova – *Quercus ilex* L. (Hódar, 2002), *Q. myrtifolia* Willd., *Q. geminate* Small (Cornelissen et al., 2003), *Q. laurina* Humb. & Bonpl., *Q. affinis* Scheidw. (González-Rodríguez & Oyama, 2005), *Q. resinosa* Liebm. (Albarrán-Lara et al., 2010). Kod hrastova na teritoriji Srbije (oblast Šumadije), Jovanović et al. (2022a, c, 2023a) pokazali su postojanje fluktuirajuće asimetrije kod cera, sladuna, lužnjaka i kitnjaka, sa vrednostima sličnim onima dobijenim u ovoj doktorskoj disertaciji.

Rezultati ove doktorske disertacije su pokazali da je fluktuirajuća asimetrija bila najizraženija kod cera, a najmanje izražena kod kitnjaka, kao i da je jedino kod cera ovaj parametar pokazao razlike među individuama. Cer je vrsta koju karakteriše dobra adaptabilnost na različite uslove staništa, toleriše sušu, zagađenje vazduha i raste na različitim tipovima zemljišta. Pored toga, može se naći i na različitim nadmorskim visinama i ekspozicijama – u toplijim oblastima na poluosunčanim lokalitetima. a u hladnijim oblastima na lokalitetima izloženim suncu (de Rigo et al., 2016). Sa druge strane, kitnjak je najbolje prilagođen lokalitetima sa umerenom količinom nutrijenata i zahteva više svetlosti u poređenju sa drugim vrstama hrastova na Kosmaju, naseljava nešto veće nadmorske visine i samo delimično toleriše zasenčenost (Annighöfer et al., 2015). Upravo iz pomenutih razloga rezultati ukazuju da je adaptabilnost, merena preko fluktuirajuće asimetrije lista, bila izraženija kod cera u poređenju sa kitnjakom.

Suprotno fluktuirajućoj asimetriji, najmanje variranje kod svih vrsta zabeleženo je režnjevitosti lista, sugerišući da je režnjevitost karakteristika koja je specifična za vrstu i veoma malo se menja u okviru nje. Listovi sa većim razlikama između površine i konveksnog omotača, kao što su listovi sa dubokim režnjevima, se na osnovu parametra solidnosti mogu razlikovati od kompaktnijih listova (Li et al., 2018). Na osnovu dobijenih rezultata, uočeno je da su režnjevi bili najizraženiji kod sladuna a najmanje kod cera. Ipak, na unutarvrsnom nivou, malo variranje u režnjevitosti lista ukazuje da data odlika kod hrastova pokazuje male razlike, bar na maloj prostornoj razmeri planine Kosmaj. Pojedina istraživanja populacija različitih vrsta hrastova u Srbiji (Jovanović et al., 2022a, c, 2023), pokazala su malo variranje solidnosti lista, slično onom opserviranom u ovoj doktorskoj disertaciji.

Iako je oblik lista, uglavnom, određen genetičkim faktorima, na njega utiču i faktori sredine, kao što su nadmorska visina, temperatura, dostupnost vode i slično (Tsukaya, 2005). Na primer, nadmorska visina, ekspozicija i nagib terena utiču na rast i razvoj biljaka, jer izazivaju variranje faktora sredine, kao što su temperatura vazduha, količina padavina, isparavanje i transpiracija, brzina vetra i osunčanost (Bennie et al., 2008, Moeslund et al.. 2013, Liu et al., 2020). Zbog toga je varijabilnost morfoloških karakteristika lista, kao što su površina, prečnik, obim, dubina i širina režnjeva, često određena plastičnim odgovorom na spoljašnje uslove sredine (Conte, 2021), naglašavajući značaj razmatranja ovih faktora prilikom objašnjavanja morfoloških razlika. Prema rezultatima predstavljenim u ovoj doktorskoj disertaciji, opservirano je da su individue četiri analizirane vrste hrastova uzorkovane na različitoj nadmorskoj visini i da su kod cera, medunca i sladuna uočene korelacije nadmorske visine i veličine i oblika lista. Kod kitnjaka, koji je uzorkovan na najvećoj nadmorskoj visini, korelacije nisu bile statistički značajne, ukazujući da se hrastovi različito prilagođavaju uticaju nadmorske visine na nivou vrste. U pogledu alometrije, redukcija veličine lista primećena je sa povećanjem nadmorske visine kod evropskih hrastova (*Quercus* sp.) i drugih vrsta biljaka (Zhang & Marshall, 1995; Bresson et al., 2011), ukazujući da fenotipska varijabilnost merena duž gradijenta može biti pod uticajem sredinskih faktora. Takođe, veza između diferencijacije genetičkog variranja i veličine lista uslovljena je nadmorskom visinom (Morecroft & Woodward, 1996; Rowland, 2001) i može voditi do diverzifikujuće selekcije. Dakle, različite sredine mogu izazvati diferencijaciju između populacija u pogledu veličine lista, i zbog alometrije, u pogledu oblika lista. Ovo objašnjava ulogu alometrije lista u adaptaciji populacija

biljaka na različite sredine i morfološku diferencijaciju dugotrajno izolovanih populacija (Viscosi, 2015). Takođe, na različitim nadmorskim visinama, biljke su pod uticajem različitih vrednosti vazdušnog pritiska – redukcija pritiska na većim nadmorskim visinama smanjuje parcijalni pritisak kiseonika, smanjujući pritisak vodene pare i povećavajući atmosfersku transmisiju sunčevih zraka (Xu et al., 2021), na taj način utičući na fotosintetičke parametre.

Na osnovu rezultata ove doktorske disertacije, uočene su veze između vrednosti nagiba terena i veličine i oblika listova svih analiziranih vrsta osim sladuna. Ovo se prvenstveno odnosilo na veće vrednosti fluktuirajuće asimetrije na manjim nagibima terena kod medunca, veću zaobljenost i smanjenu režnjevitost listova na većim nagibima terena kod cera, kao i na prisustvo širokih listova sa manje izraženim režnjevima na većim nagibima terena kod kitnjaka. U pogledu ekspozicije, samo širina lista doprinosila je razlikama među individuama kod svih analiziranih vrsta, ukazujući na prisustvo većih listova na južnoj ekspoziciji. Strane okrenute severu su vlažnije i hladnije, sa većom količinom organskih materija i dubljim zemljištem, izloženije eroziji. Pošto pomenuti uslovi značajno utiču na vegetaciju kroz modifikaciju lokalnih uslova staništa, rezultati ove doktorske disertacije ukazuju da su hrastovi na Kosmaju pod uticajem sredinskih faktora i da pokazuju značajnu fenotipsku plastičnost kao odgovor na zahteve staništa.

Opservirani obrasci varijabilnosti i njihova korelacija sa uslovima staništa otvara vrata za istraživanje čitavog niza potencijalnih faktora koji utiču na strukturu i dinamiku hrastovih šuma. U Evropi, hrastove šume su pod uticajem većeg broja faktora, od kojih su klimatske promene među najznačajnijim, prvenstveno zbog povećanja prosečnih godišnjih temperatura i ekstremnih klimatskih događaja. Ovi ekstremni događaji, zajedno sa intenzivnom degradacijom staništa, utiču na smanjenje površina pod šumama smanjujući njihovu vitalnost, rast i produktivnost (Petritan et al., 2021). Balkansko poluostrvo predstavlja jedno od najznačajnijih oblasti u Evropi u pogledu filogenije roda *Quercus* L. U ovoj oblasti došlo je do postglacijalne, posttercijarne i tercijarne evolucije evropskih vrsta hrastova, prvenstveno zbog refugijalne prirode ove oblasti, specifične klime i reljefa. Kserotermizacija klime na Balkanskom poluostrvu od tercijara pa do danas posledica je globalnih klimatskih promena i antropogenih uticaja, kao što je uništavanje šuma i degradacija zemljišta, posebno u brdskim i planinskim oblastima. Usled povećane kserotermizacije klime, postoji rastući trend kod predstavnika roda *Quercus* L. da stvaraju sve kserofilnije i kseromorfnije oblike sa redukovanim listovima sa dubokim usecima, redukovanom transpiracionom površinom i povećanom dlakavošću listova i izdanaka (Janković 1973; Sabaté et al., 2002). Takođe, istraživanje morfološke (Jovanović 2000; Franjić et al., 2006) i genetičke varijabilnosti (Ballian et al., 2010) hrastova sa Balkanskog poluostrva ukazuju na njihovu veliku varijabilnost. Na primer, kod medunca, jednog od najugroženijih istraživanih hrastova u ovoj doktorskoj disertaciji, smatra se da su postglacijalna migracija, prirodna selekcija, antropogene aktivnosti i adaptacije na promene sredine, uključujući i klimu, glavni razlozi povećane varijabilnosti. Stoga, varijabilnost lista istraživanih vrsta hrastova može biti rezultat adaptacije na promenu klime, imajući u vidu da se u poslednjih pet decenija prosečna godišnja temperatura na području planine Kosmaj povećala, a padavine su veoma varirale (Stajić,

2016). Ovo naglašava potrebu dugoročnog monitoringa varijabilnosti hrastova u ovojoblasti, i njihovo povezivanje sa promenama klimatskih karakteristika područja.

Sprovedene molekularno-genetičke analize su imale za cilj **utvrđivanje neutralne varijabilnosti** četiri vrste hrastova (kitnjaka, medunca, sladuna i cera) na području PIO „Kosmaj", a dobijeni rezultati (Šijačić-Nikolić, 2023; Šijačić-Nikolić et al. 2023) su iskorišćeni za procenu genetičkog statusa i genetičke strukture populacija ispitivanih vrsta hrastova.

Uočena je razlika u broju uspešno umnoženih molekularnih markera kod kitnjaka, medunca i sladuna s jedne strane, i cera sa druge strane, koja se može pripisati davnoj divergenciji ove dve grupe, koje se danas svrstavaju u različite sekcije (Sect. *Quercus* i Sect. *Cerris*). Nakon divergencije grupa, evolutivna istorija svake grupe odvija se nezavisno, i akumulacija mutacija u jednoj grupi se ne podudara sa akumulacijom mutacija u drugoj grupi. U tom smislu, moguće je da su se kod cera akumulirale mutacije u mestima vezivanja prajmera korišćenih nuklearnih mikrosatelita, ili da su regioni genoma u kojima su prisutni pojedini molekularni markeri korišćeni u ovoj studiji pretrpeli određene promene, koje su rezultirale izostankom umnožavanja pojedinih nuklearnih mikrosatelita. Kod kitnjaka, medunca i sladuna uspešno je umnoženo 14 od 20 odabranih molekularnih markera, a broj nultih alela bio je zanemarljiv (0,89%), što govori u prilog ranijih navoda o uspešnoj međuvrsnoj transferabilnosti ovih lokusa kod hrastova (Durand et al. 2010). Takođe, broj alela detektovanih kod 14 nuklearnih mikrosatelita korišćenih u ovoj studiji kod kitnjaka, medunca i sladuna je u skladu sa ranijim navodima o vrednostima ovog parametra genetičkog diverziteta datih lokusa kod ispitivanih vrsta hrastova (npr., Muir & Schloetterer, 2005; Curtu et al., 2007; Salvini et al., 2009; Neophytou et al., 2010; Alberto et al., 2010; Katičić Bogdan et al., 2018).

Sveukupno, vrednosti parametra genetičkog diverziteta kod sve četiri vrste hrastova ukazuju da se populacije datih vrsta odlikuju visokim nivoom genetičkog diverziteta, koji je uporediv sa nivoom genetičkog diverziteta kod datih vrsta hrastova generisanih primenom istog tipa molekularnih markera koji su dobijeni u ranijim istraživanjima (npr., Muir & Schloetterer, 2005; Curtu et al., 2007; Salvini et al., 2009; Neophytou et al., 2010; Alberto et al., 2010; Katičić Bogdan et al., 2018). Na primer, slične vrednosti heterozigotnosti za kitnjak, sladun i medunac zabeležene su od strane različitih autora širom Evrope – kod kitnjaka iz centralne Evrope i Balkanskog poluostrva (Neophytou et al., 2010), kod medunca u Italiji (Di Pietro et al., 2020), i kod medunca i sladuna u Rumuniji (Curtu et al., 2011). Cer se, sa druge strane, odlikovao nešto nižim nivoom genetičkog diverziteta u poređenju sa ispitivanim populacijama kitnjaka, medunca i sladuna, ali je i dalje u opsegu vrednosti opserviranih u drugim istraživanjima (npr. Özer, 2014; Bertolasi et al., 2023).

Iako je kod svih ispitivanih populacija hrastova na području PIO „Kosmaj" uočen statistički značajan koeficijent inbridinga, dobijeni rezultat ne odražava visok stepen ukrštanja u srodstvu već Valundov efekat, odnosno, substrukturu populacija, bar u slučaju kitnjaka, medunca i cera. Substruktura populacije medunca i sladuna pokazala je da ispitivana populacija kitnjaka sadrži dve distinktne genetičke grupe, a populacija medunca tri distinktne genetičke grupe. Substruktura ispitivane populacije cera pokazala je da populacija cera obuhvata četiri genetičke grupe.

Navedeni rezultati govore u prilog kompleksne genetičke strukture kitnjaka, medunca i cera na području PIO „Kosmaj", dok se ispitivana populacija sladuna može okarakterisati kao genetički koherentna. Takođe, kod kitnjaka, medunca i sladuna uočeno je postojanje genetičke diferencijacije. S obzirom da je međuvrsna hibridizacija različitih vrsta hrastova opšte poznat fenomen (npr., Curtu et al., 2007; Salvini et al., 2009; Ortego & Bonal 2010; Neophytou et al., 2010), dobijeni rezultati ukazuju na to da su navedene vrste hrastova, i pored toga što su prisutne u simpatriji na istom staništu, zadržale svoj genetički integritet.

Kako analiza genetičke (adaptivne i neutralne) varijabilnosti hrastova na području PIO „Kosmaj" za krajnji cilj ima očuvanje genofonda, identifikacija najizraženijih negativnih faktora koji deluju u ovoj oblasti, kao i definisanje ciljeva, prioriteta i mera njihovog očuvanja su još jedan od rezultata opsežnih istraživanja sprovedenih u okviru ove doktorske disertacije.

Dobijeni rezultati u skladu su sa ciljevima, prioritetima i merama očuvanja šumskih genetičkih resursa koje su definisali Šijačić-Nikolić et al. (2016). Prema ovim autorima, sumarno posmatrano, očuvanje šumskih genetičkih resursa na teritoriji Republike Srbije zavisi od razvoja svesti stanovništva o ovoj problematici, načina finansiranja aktivnosti očuvanja, kao i adekvatnog angažovanja stručnog kadra. Definisanje glavnih ciljeva, prioriteta i mera očuvanja genetičkih resursa autohtonih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj", stoga, obuhvata kompleks različitih strategija i aktivnosti koje za cilj imaju trajnu egzistenciju, evoluciju i dostupnost genetičkih resursa hrastova za sadašnje i buduće generacije.

Pored jasnog definisanja aktivnosti vezanih za očuvanje i usmereno korišćenje genetičkih resursa hrastova na području PIO „Kosmaj", poštovanje i unapređenje konzervacionih principa u gazdovanju šumama, unapređenje proizvodnje reproduktivnog materijala, promocija i upoznavanje javnosti sa značajem održivog korišćenja genetičkih resursa hrastova, kao i poštovanje međunarodnih i nacionalnih propisa i strategija, od ključnog su značaja za očuvanje autohtonih vrsta hrastova na Kosmaju. Takođe, na Kosmaju, koji je pod izraženim antropogenim uticajem (posebno pogođen degradacijom staništa, širenjem invazivnih vrsta, zagađenjem i klimatskim promenama), usmereno korišćenje genofonda hrastova, kroz *in situ* i *ex situ* očuvanje smeće se kao jedan od ključnih koraka u zaštiti genetičkog diverziteta. Ovo je u skladu sa Šijačić- Nikolić & Milovanović (2007) i Šijačić-Nikolić et al. (2016), koji naglašavaju da su glavni ciljevi gazdovanja šumskim genetičkim resursima poboljšanje uslova za evolutivne promene kod šumskog drveća (kao vid adaptacije na promene u životnoj sredini) i redukcija genetičke erozije.

6. ZAKLjUČCI

Rezultati ove doktorske disertacije **potvrdili su glavnu hipotezu da je stepen među- i unutarvrsne genetičke varijabilnosti hrastova na području PIO „Kosmaj" rezultat uticaja genotipa, lokalnih uslova staništa, stanja životne sredine, načina gazdovanja populacijama i istorijskih procesa kroz koje su istraživane populacije prošle**. Rezultati su pokazali da je genetička varijabilnost hrastova na području PIO „Kosmaj" povezana sa karakteristikama staništa, stanjem životne sredine i načinima gazdovanja populacijama hrastova, da postoji usklađenost rezultata dobijenih primenom adaptivnih i neutralnih genetičkih markera, kao i usklađenost dobijenih rezultata sa ranije publikovanim podacima o genetičkoj varijabilnosti hrastova.

Na osnovu rezultata doktorske disertacije, **potvrđena je hipoteza da je adaptivna varijabilnost hrastova na području PIO „Kosmaj" povezana sa karakteristikama staništa, koje, pored toga što diktiraju raspored vegetacije na istraživanom području, utiču i na diverzitet u svakoj od odabranih populacija**.

Adaptivna genetička varijabilnost, predstavljena pomoću morfoloških karakteristika, usko je povezana sa adaptabilnošću i odražava strategije preživljavanja. Procena morfoloških karakteristika uspostavljanjem matematičkih modela, posebno geometrijskih i statističkih, važan je metod istraživanja u oblasti morfologije. Matematička analiza površine i oblika listova i drugih morfoloških karakteristika uspostavljanjem ovih modela je od velike pomoći za razumevanje strategija preživljavanja. Takođe, važno je proučavanje funkcionalnih svojstava na većim prostornim skalama da bi se stekao bolji uvid u to kako se elementi morfologije prilagođavaju promenama životne sredine. Rezultati ove doktorske disertacije, koji su pokazali visok stepen morfološke varijabilnosti lista hrastova sa područja PIO „Kosmaj" i povezali varijabilnost sa uslovima staništa dobijenim pomoću digitalnog modela terena, izuzetna su prilika za opservaciju veze morfologije i životne sredine, koja se može koristiti u svrhu konzervacije šumskih genetičkih resursa. Na osnovu rezultata, povezivanje morfologije i staništa sa osnovnim principima gazdovanja šumama na Kosmaju jedan je od prioriteta koji se nameću u budućnosti.

Generalno, rezultati istraživanja adaptivne varijabilnosti hrastova na području PIO „Kosmaj" pokazali su:

- prisustvo značajnih razlika u veličini i obliku lista između cera, kitnjaka, medunca i sladuna,
- prisustvo variranja fluktuirajuće asimetrije lista kod cera i medunca i u nešto manjoj meri kod kitnjaka i sladuna,
- negativnu korelaciju veličine lista (dužine, širine, površine) sa režnjevitošću (manji listovi imaju izraženije režnjeve) kod svih vrsta, osim kodsladuna,
- jasne obrasce međuvrsne varijabilnosti u obliku – uzak donji i širok gornji deo lisne ploče kod sladuna, uska i zašiljena lisna ploča kod cera, dugačka lisna

drška i mala razlika u širini gornjeg i donjeg dela lisne ploče kod medunca i kitnjaka.

Najveće variranje kod svih vrsta zabeleženo je za fluktuirajuću asimetriju, koja predstavlja pokazatelj razlika između leve i desne strane lista, ukazujući na postojanje listova sa izraženom simetrijom, ali i onih kod kojih je bila prisutna asimetrija. U pogledu korelacija, fluktuirajuća asimetrija je pokazala najveće razlike među vrstama – negativno je bila korelisana sa cirkularnošću i solidnošću kod cera, sa zaobljenošću i solidnošću kod kitnjaka, dok kod medunaca i sladuna nije bila korelisana sa drugim parametrima. Jedino je kod cera zabeležen statistički značajan efekat selekcionisane individue na fluktuirajuću asimetriju, dok je kod medunca bio na granici statističke značajnosti. Na osnovu rezultata istraživanja, uočava se da je fluktuirajuća asimetrija bila najizraženija kod cera, a najmanje izražena kod kitnjaka. Jedino kod cera je ovaj parametar pokazao razlike među individuama.

Najmanje variranje kod svih vrsta zabeleženo je za solidnost, parametar koji predstavlja pokazatelj režnjevitosti lista. Solidnost je imala najmanje vrednosti kod sladuna, kod koga su režnjevi bili najizraženiji, a najveće vrednosti kod cera, koji se odlikovao najslabije izraženim režnjevima. Zaobljenost lista, kao i cirkularnost (odnos površine i obima) kod svih vrsta su bile pozitivno korelisane sa solidnošću.

Korelacije među parametrima veličine lista pokazale su da je kod svih vrsta prisutna pozitivna korelacija između dužine i širine, dužine i površine i dužine i odnosa dužina/širina, ukazujući da se sa porastom dužine, širina i površina takođe povećavaju. Suprotno pomenutom, kod svih vrsta, osim sladuna, zabeležena je negativna korelacija između dužine i zaobljenosti, cirkularnosti i solidnosti, ukazujući da su duži listovi manje zaobljeni i sa slabije izraženim režnjevima. Širina i površina pratile su isti obrazac korelacija kao i dužina. Pomenuti obrazac varijabilnosti bio je prisutan kod svih analiziranih vrsta osim kod sladuna, gde su veći listovi (veće dužine, širine i površine) imali izraženije režnjeve.

Prokrustova analiza varijanse je kod svake vrste ukazala da i veličina i oblik utiču na morfološku varijabilnost. Analiza grozdovanja parametara lista, konture dobijene eliptičnom Furijeovom analizom i analiza glavnih komponenti specifičnih tačaka vizuelno su predstavile obrasce grupisanja među individuama kod svake vrste. Među vrstama, jasni obrasci varijabilnosti su uočeni – sladun je imao uzak donji i širok gornji deo lisne ploče i kratku lisnu dršku, cer je imao usku i zašiljenu lisnu ploču, dok su medunac i kitnjak imali dužu lisnu dršku i manju razliku u širini gornjeg i donjeg dela lisne ploče.

Rezultati istraživanja veze morfologije lista i parametra životne sredine, dobijeni korišćenjem digitalnog modela terena, pokazali su sledeće:

- Na najvećoj nadmorskoj visini uzorkovani su listovi kitnjaka, ali mere listova jedino ove vrste nisu pokazale statistički značajne korelacije sa nadmorskom visinom. Kod sladuna, koji je uzorkovan na najmanjoj nadmorskoj visini, ovaj pokazatelj je bio pozitivno korelisan sa merama koje opisuju veličinu lista (dužina, širina, površina), što ukazuje da se sa porastom nadmorske visine povećavala i veličina lista. Listovi cera i medunca, sa druge strane, pokazali su negativne korelacije sa zaobljenošću, cirkularnošću i solidnošću koje opisuju oblik lista, ukazujući da se sa povećanjem nadmorske visine režnjevitost lista smanjivala. Pored pomenutog, kod cera je zabeležena pozitivna korelacija dužine

lista i nadmorske visine, ukazujući na povećanje dužine sa povećanjem nadmorske visine.

- Medunac je uzorkovan na najmanjim vrednostima nagiba terena, a sladun na najvećoj. Kod medunca, postojala je negativna korelacija nagiba terena i fluktuirajuće asimetrije, ukazujući na veće vrednosti ovog parametra na manjim nagibima. Sa druge strane, kod sladuna ni jedan parametar nije bio korelisan sa nagibom terena. Kod cera, zaobljenost i cirkularnost lista bile su pozitivno korelisane sa nagibom terena, ukazujući da je na većim nagibima list zaobljeniji i sa manje izraženim režnjevima. Kod kitnjaka, širina lista i cirkularnost bile su pozitivno korelisane sa nagibom terena, ukazujući na veću širinu i manje izražene režnjeve na većim nagibima terena.
- Najveći broj individua u celom uzorku hrastova uzorkovan je na južnoj ekspoziciji, a najmanji na istočnoj. Male razlike su zabeležene između kategorija ekspozicije, sa samo jednim parametrom (širina lista) koji je doprinosio razlikama. Širina lista je, zapravo, odvojila individue uzorkovane na istočnoj ekspoziciji od ostalih, sugerišući da se na ovoj ekspoziciji javljaju listovi većih dimenzija. Kod pomenutih individua, uočena je i pozitivna korelacija odnosa dužina/širina lista i cirkularnosti, ukazujući da što je manji odnos dužine i širine, režnjevitost lista je manje izražena.

Rezultati doktorske disertacije su, takođe, **potvrdili hipotezu da postoji usklađenost rezultata dobijenih primenom adaptivnih i neutralnih genetičkih markera**.

Kao i rezultati analize adaptivne varijabilnosti, i rezultati analize neutralne varijabilnosti hrastova, pokazali su da se na području PIO „Kosmaj" četiri analizirane vrste hrastova odlikuju visokim nivoima genetičkog diverziteta, koji je preduslov za njihovo preživljavanje.

Generalno, rezultati istraživanja neutralne varijabilnosti hrastova na području PIO „Kosmaj" pokazali su:

- Kod kitnjaka, medunca i sladuna uspešno je umnoženo 14 od 20 odabranih molekularnih markera, a broj nultih alela bio je zanemarljiv (0,89%). S obzirom da je svih 14 lokusa uspešno umnoženo kod tri vrste hrastova, bilo je moguće poređenje ovih vrsta. Kod cera je, međutim, uspešno umnoženo svega pet od 20 nuklearnih mikrosatelita, a broj nultih alela nije bio zanemarljiv (20,11%).
- Genotipizacija je uspešno obavljena kod 218 individua četiri vrste hrastova sa područja PIO „Kosmaj", i to kod 52 od 60 selekcionisanih individua kitnjaka (86,67%), 53 od 65 selekcionisanih individua medunca (81,54%), 55 od 62 selekcionisane individue sladuna (88,71%), i 58 od 60 selekcionisanih individua cera (96,67%).
- Kod 160 individua kitnjaka, medunca i sladuna detektovano je ukupno 314 alela na 14 lokusa, a kod 58 individua cera 79 alela na 5 lokusa. Kao najinformativniji lokus kod kitnjaka, medunca i cera izdvojio se lokus QrZAG90, kod kojeg je kod svih ispitivanih vrsta detektovan najveći broj alela po lokusu, kao i najveći efektivni broj alela po lokusu, koji ukazuje na prisustvo većeg broja visoko frekventnih alela i manjeg broja nisko frekventnih alela. Kao najmanje informativan pokazao se lokus PIE239 kod kitnjaka, lokus QrZAG108 kod

medunca, i lokus QrZAG87 kod sladuna. Kod cera se kao najmanje informativan pokazao lokus MSQ13, a kao najinformativniji lokus QpZAG110.

- Procenjena vrednost parametra bogatstvo alela dobijena po metodi rarefakcije za 98 kopija gena kod kitnjaka, medunca i sladuna kretala se u opsegu od 14,76 kod sladuna, do 17,54 kod kitnjaka, sa prosekom od 16,34 alela po lokusu za populacije kitnjaka, medunca i sladuna. Najniža vrednost kod medunca i najviša kod kitnjaka, uočena je kod parametra dobijena heterozigotnost (0,731, S.E. = 0,051 naspram 0,753, S.E. = 0,053), dok je najniža vrednost parametra efektivna veličina populacije uočena kod medunca 305,5, 190,2; 719,2), a najviša kod sladuna (∞, 1859,9; ∞). Kod cera su detektovane najniže vrednosti parametara prosečan broja alela po lokusu, dobijena i očekivana heterozigotnost, pa se stoga može reći da se ispitivana populacija odlikuje nešto nižim nivoom genetičkog diverziteta u poređenju sa ispitivanim populacijama kitnjaka, medunca i sladuna.
- Substruktura populacije medunca i sladuna uočena je u STRUCTURE analizi, koja je pokazala da ispitivana populacija kitnjaka sadrži dve distinktne genetičke grupe, a populacija medunca tri distinktne genetičke grupe. Substruktura ispitivane populacije cera uočena je u PCoA analizi, i obuhvata četiri genetičke grupe.
- Niske, ali statistički značajne vrednosti F_{ST} parametra između ispitivanih populacija kitnjaka, medunca i sladuna govore u prilog postojanja genetičke diferencijacije između navedenih vrsta hrastova.

Na osnovu prikazanih rezultata može se konstatovati da se populacije kitnjaka, medunca, sladuna i cera na području PIO „Kosmaj" odlikuju različitim, ali visokim nivoom genetičkog diverziteta, što predstavlja preduslov za njihov dugoročni opstanak, naročito u uslovima klimatskih promena. Takođe, i pored prisustva u simpatriji, sve četiri vrste hrastova su zadržale genetički integritet, što je rezultiralo izraženom genetičkom strukturom, koja se ogleda i u postojanju substrukture populacija kitnjaka, medunca i cera. Zato se može zaključiti da se opstanak populacija ispitivanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj" ne dovodi u pitanje sa aspekta neutralne varijabilnosti.

Rezultati doktorske disertacije **potvrdili su hipotezu da je genetička varijabilnost hrastova na području PIO „Kosmaj" povezana sa stanjem životne sredine i načinima gazdovanja njihovim populacijama**.

Konzervacija šumskih genetičkih resursa i održivo gazdovanje šumama zahteva dobro poznavanje nivoa i distribucije genetičkog diverziteta, posebno u oblastima koje su pod intenzivnim antropogenim uticajem, kao što je slučaj sa Kosmajem. Iako su hrastovi sposobni za visoke stope lokalnih adaptacija, njihova dugovečnost i imobilnost čine ih ranjivim na brze promene u životnoj sredini. Visoki nivoi genetičkog diverziteta kod hrastova sa područja PIO „Kosmaj" (uočeni na osnovu analiza adaptivne i neutralne varijabilnosti) favorizuju brzu adaptaciju, a rezultat ove lokalne adaptacije je fenotip koji je optimalan u odnosu na sredinske pritiske i koji poseduju najveći fitnes.

Istraživanja sprovedena u ovoj doktorskoj disertaciji omogućila su identifikovanje glavnih faktora ugrožavanja genetičkih resursa hrastova na području PIO „Kosmaj":

- gubitak i degradacija staništa;
- prisustvo i širenje alohtonih vrsta;
- zagađenje životne sredine;
- klimatske promene;
- prekomerna eksploatacija šumskih resursa.

Ovo ukazuje na neophodnost sprovođenja različitih konzervacionih aktivnosti, pre svega *in situ* konzervaciju, koja predstavlja prvi korak u očuvanju i održivom korišćenju genetičkih resursa autohtonih hrastova na Kosmaju.

Rezultati doktorske disertacije **potvrdili su hipotezu da postoji usklađenost dobijenih rezultata sa publikovanim podacima o genetičkoj varijabilnostihrastova**.

Na osnovu pregleda literaturnih podataka publikovanih za različite vrste hrastova, uočljivo je da se obrasci morfološke varijabilnosti, kao i nivoi genetičkog diverziteta uopšte, uklapaju u nivoe opservirane od strane drugih autora na teritoriji Evrope i šire. Adaptivna i neutralna genetička varijabilnost su u direktnoj vezi sa sistematikom i posredno sa konzervacijom određenih taksona. Sistematika i konzervacija su usko povezane oblasti podržane proučavanjem morfologije, evolucije i klasifikacije. Metode u sistematici biljaka se menjaju, jer nova tehnološka dostignuća nude efikasnije i moćnije alate za produbljivanje znanja i pružanje bolje podrške planiranju i konzervaciji, a kontinuirano opadajući diverzitet vrsta glavna je briga istraživača, koordinatora zaštite i kreatora politika i planova očuvanja. Stoga je ključni korak u konzervaciji genetičkog diverziteta hrastova, pored praćenja savremenih trendova u istraživanju, inkorporiranje postojećih obrazaca varijabilnosti opserviranih na lokalnom nivou u one opservirane na regionalnom i/ili globalnom nivou.

Na osnovu potvrđenih hipoteza, **ispunjen je i cilj istraživanja doktorske disertacije, koji je obuhvatao karakterizaciju ekološkog i konzervacionog statusa četiri vrste hrasta na području PIO „Kosmaj" i definisanje konkretnih mera konzervacije, kao i ekoloških i konzervacionih principa gazdovanja njihovimpopulacijama**.

Istraživanja na području PIO „Kosmaj" dala su uvid u sastav vrsta hrastova u ovoj oblasti, kao i u opšte stanje njihovih populacija. Oslanjajući se na jasno prepoznavanje različitih vrsta i njihovih ograničenja na području Kosmaja, očuvanje vrsta u ovoj oblasti daleko prevazilazi klasično obezbeđivanje genetičke raznovrsnosti populacija i ekosistema. Međutim, proučavanje genetičkog diverziteta je prvi i ključni korak za uspostavljanje uspešnih strategija očuvanja, jer bez istinskog razumevanja sveukupnog biodiverziteta, sve procedure i pokušaji očuvanja ostaju nepotpuni i fragmentirani.

Istraživanja su omogućila definisanje prioriteta za konzervaciju genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova na području PIO „Kosmaj":

1. širenje znanja i informacija o negativnim uticajima na genetičke resurseistraživanih vrsta hrastova;
2. proširivanje znanja i informacija o značaju i ulogama genetičkih resursaistraživanih vrsta hrastova radi smanjenja negativnih efekata;
3. poboljšavanje postojećih strateških i pravnih okvira u konzervaciji genetičkihresursa istraživanih vrsta hrastova;
4. uvođenje *in situ* konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova;
5. uvođenje *ex situ* konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova;
6. poboljšanje integralnog pristupa konzervaciji genetičkih resursa istraživanihvrsta hrastova radi smanjenja negativnih efekata;
7. inkluzija pristupa konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastovau sistem gazdovanja šumama;
8. jačanje kapaciteta institucija i organizacija radi razumevanja značaja konzervacije genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova;
9. podizanje svesti o konzervaciji genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova;
10. ekološki i ekonomski aspekti konzervacije genetičkih resursa istraživanihvrsta hrastova.

Na osnovu definisanih deset prioriteta za konzervaciju genetičkih resursa istraživanih vrsta hrastova, uočljivo je da gazdovanje šumama na području PIO „Kosmaj", u svrhu poboljšanja produkcije i unapređenja zaštite, mora biti kombinovano sa dobrim planiranjem i koordinacijom aktivnosti na nacionalnom, lokalnom i regionalnom nivou. Očuvanje biološke raznovrsnosti šuma, koja uključuje genetičke resurse istraživanih hrastova, od suštinskog je značaja za održavanje proizvodne vrednosti šuma, kao i za održavanje zdravlja i vitalnosti šumskih ekosistema, a samim tim i za održavanje njihove zaštitne, ekološke i kulturne funkcije. Velika pretnja šumskim ekosistemima na Kosmaju je korišćenje šumskog zemljišta u druge svrhe. Sve veći pritisak ljudske populacije koja teži višim životnim standardima, bez balansiranja održivosti korišćenja resursa koja podupire takav razvoj, dovodi do brojnih izazova. Neizbežno je da će u budućnosti doći do promena u korišćenju zemljišta, ali takve promene treba planirati kako bi se obezbedilo postizanje komplementarnih ciljeva očuvanja i razvoja. Ovo se može sprovesti intenziviranjem zaštite na području PIO „Kosmaj", kao glavne komponente u planiranju korišćenja zemljišta i strategijama upravljanja resursima. Trenutno, glavni problem u postizanju ciljeva očuvanja je nedostatak adekvatnih institucionalnih i političkih okvira koji omogućavaju razmatranje izbora o korišćenju zemljišta i operativno upravljanje, koji su pravični prema svim zainteresovanim stranama i koji se mogu efikasno sprovoditi, nadgledati i redovno prilagođavati novonastalim situacijama.

Odluke o očuvanju genetičkih resursa hrastova ne treba donositi izolovano, već kao sastavnu komponentu planova upravljanja zaštićenim prirodnim dobrom i osnova za gazdovanje šumama. Ključ uspeha leži u razvoju programa koji usklađuju očuvanje i održivo korišćenje biološke raznovrsnosti i genetičkih resursa hrastova u okviru „mozaika" opcija korišćenja zemljišta. Održivost delovanja tokom vremena mora biti zasnovana na pokušajima da se zadovolje potrebe i aspiracije svih zainteresovanih strana, što zahteva blisku i kontinuiranu saradnju, dijalog i uključivanje zainteresovanih u planiranje i izvršenje programa.

Efikasna konzervacija genetičkih resursa hrastova na području PIO „Kosmaj" zahteva koordinisane napore sektora šumarstva i zaštite životne sredine i prirode. Važan cilj je određivanje prioritetnih vrsta, populacija i područja za očuvanje genetičkih resursa hrastova u vidu *ex situ* i *in situ* konzervacije u okviru koherentnog programa i u skladu sa nacionalnim politikama i biološkim mogućnostima svake vrste.

Ne postoje fundamentalne tehničke prepreke za postizanje ciljeva očuvanja koje se ne mogu prevazići. Poslednjih godina pokrenute su brojne aktivnosti na očuvanju i održivom korišćenju genetičkih resursa hrastova na Kosmaju – ova doktorka disertacija je jedan od rezultata studije pod nazivom «*Identifikovanje, praćenje i konzervacija genofonda endemičnih, retkih i ugroženih drvenastih vrsta na području PIO „Kosmaj"*», finansirane od strane Gradske uprava grada Beograda – Sekretarijata za zaštitu životne sredine (Ugovor broj V-01 4011-119), čiji je izvršilac Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu. Međutim, praktična iskustva mnogih drugih aktivnosti nedovoljno su dokumentovana, a stečenom znanju se posvećuje malo pažnje i retko se primenjuje u većem obimu. Iskustvo pokazuje da oprezne i blagovremene mere i programi zasnovani na najboljem raspoloživom znanju mogu da daju vitalni doprinos očuvanju genetičkih resursa hrastova. Stoga je od najveće važnosti da ovo iskustvo, zajedno sa trenutnim znanjem o teoriji očuvanja, bude široko dostupno u obliku generalizovanih smernica i procedura.

7. LITERATURA

Aas, G., 1993. Taxonomical impact of morphological variation in *Quercus robur* and *Q petraea*: a contribution to the hybrid controversy. *Annals of Forest Science* 50: 107s-113s.

Abdeldjalil, A., Beghami, Y. 2022. Geometric morphometrics use in the examination of subgenus *Quercus* leaf shape variation in Algeria. *Folia Oecologica* 49: 175-181.

Akli, A., Lorenzo, Z., Alía, R., Rabhi, K., Torres, E. 2022. Morphometric analyses of leaf shapes in four sympatric Mediterranean oaks and hybrids in the Algerian Kabylie forest. *Forests* 13: 508.

Albarrán Lara, A. L., Mendoza-Cuenca, L., Valencia-Avalos, S., González-Rodríguez, A., Oyama, K. 2010. Leaf fluctuating asymmetry increases with hybridization and introgression between *Quercus magnoliifolia* and *Quercus resinosa* (Fagaceae) through an altitudinal gradient in Mexico. *International Journal of Plant Sciences* 171: 310-322.

Alberto, F., Niort, J., Derory, J., Lepais, O., Vitalis, R., Galop, R. Kremer, A. 2010. Population differentiation of sessile oak at the altitudinal front of migration in the French Pyrenees. *Molecular Ecology* 19: 2626-2639.

Amaral, W., Thomson, L., Yanchuk, A. 2004. Forest genetic resources conservation and management: overview, concepts and some systematic approaches. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

Annighöfer, P., Beckschäfer, P., Vor, T., Ammer, C. 2015. Regeneration patterns of European oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in dependence of environment and neighborhood. *PLoS ONE* 10: e0134935.

Antonecchia, G., Fortini, P., Gerber, S., Legér, P., Scippa, G.S., Viscosi, V. 2015. Genetic structure of a natural oak community in central Italy: Evidence of gene flow between three sympatric white oak species (*Quercus*, Fagaceae). *Annals of Forest Research* 58: 205-216.

Bacillieri, R., Labbe, T., Kremer, A. 1994. Intraspecific genetic structure in a mixed population of *Quercus petraea* (Matt.) Leibl and *Q. robur* L. *Heredity* 73: 130-141.

Bagnoli, F., Tsuda, Y., Fineschi, S., Bruschi, P., Magri, D., Zehlev, P., Paule, L., Simeone, M. C., González-Martínez, S. C., Vendramin, G. G. 2016. Combining molecular and fossil data to infer demographic history of *Quercus cerris*: insights on European eastern glacial refugia. *Journal of Biogeography* 43: 679-690.

Ballian, D., Memišević, M., Bohunić, F., Bašić, N., Marković, M., Kajba, D. 2010. Morfološka varijabilnosthrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na području Hrvatske i zapadnog Balkana. *Šumarski list* 7-8: 371-386.

Banković, S., Medarević, M., Pantić, D. 2008. The national forest inventory of Serbia: state and possible further directions of development. *Bulletin of the Faculty of Forestry, University of Belgrade* 112: 9-32.

Barrandeguy, M. E., Garcia, M. V. 2016. Microsatellites as a tool for the study of microevolutionary process in native forest trees. In: Abdurakhmonov, I. Y. (ed.) Microsatellite Markers. InTech Open.

Belletti, P., Leonardi, S., Monteleone, I., Piovani, P. 2017. Allozyme variation in different species of deciduous oaks from northwestern Italy. *Silvae Genetica* 54: 9-16.

Bennie, J., Huntley, B., Wiltshire, A., Hill, M., Baxter, R. 2008. Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling* 216: 47-59.

Bertolasi, B., Zago, L., Gui, L., Cossu, P., Vanetti, I., Rizzi, S., Cavallini, M., Lombardo, G., Binelli, G. 2023. Genetic variability and admixture zones in the Italian populations of Turkey oak (*Quercus cerris* L.). *Life* 13:18.

Blasi, C., Di Pietro, R., Filesi, L. 2004. Syntaxonomical revision of *Quercetalia pubescenti-petraeae* in the Italian Peninsula. *Fitosociologia* 41: 87-164.

Blaženčić, J., Ranđelović, V., Butorac, B., Vukojičić, S., Zlatković, B., Žukovec, D., Ćalić, I., Pavićević, D., Lakušić, D. 2005. Staništa Srbije – Priručnik sa opisima i osnovnim podacima. Rezultati projekta "Harmonizacija nacionalne nomenclature u klasifikaciji staništa sa standardima međunarodne zajednice". Institut za Botaniku i Botanička Bašta "Jevremovac", Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.

Bonhomme, V., Picq, S., Gaucherel, C., Claude, J. 2014. Momocs: Outline Analysis Using R. *Journal of Statistical Software* 56: 1-24.

Bookstein, F. L. 1991. Morphometric tools for landmarks data: geometry and biology. Cambridge University Press, Cambridge.

Bresson, C. C., Vitasse, Y., Kremer, A., Delzon, S. 2011. To what extent is altitudinal variation of functional traits driven by genetic adaptation in European oak and beech? *Tree Physiology* 31: 1164-1174.

Burczyk, J., Chybicki, I. J., Trojankiewicz, M. 2018. High genetic diversity promotes a common-garden trial of *Quercus robur* as a potential seed source. *Dendrobiology* 79: 1-9.

Burgarella, C., Lorenzo, Z., Jabbour-Zahab, R., Lumaret, R., Guichoux, E., Petit, R. J., Soto, Á. 2009. Detection ofhybrids in nature: application to oaks (*Quercus suber* and *Q. ilex*). *Heredity* 102: 442-452.

Bussotti, F., Grossoni, P. 1997. European and Mediterranean oaks (*Quercus* L.; Fagaceae): SEM characterization of the micromorphology of the abaxial leaf surface. *Botanical Journal of the Linnean Society* 124: 183-199.

Camus, A. 1938. Les Chênes. Monographie du genre *Quercus*. Tome I. Genre *Quercus*, sous-genre *Cyclobalanopsis*, sous-genre *Euquercus* (sections *Cerris* et *Mesobalanus*). Texte. Paul Lechevalier, Paris.

Camus, A. 1939. Les Chênes. Monographie du genre *Quercus*. Tome II. Genre *Quercus*, sous-genre *Euquercus* (sections *Lepidobalanus* et *Macrobalanus*). Texte. Paul Lechevalier, Paris.

Camus, A. 1954. Les Chênes: Monographie du genre *Quercus*. Tome III. Genre *Quercus*: sous-genre *Euquercus* (sections *Protobalanus* et *Erythrobalanus*) et genre *Lithocarpus*. Texte. Paul Lechevalier, Paris.

Carrero, C., Jerome, D., Beckman, E., Byrne, A., Coombes, A. J., Deng, M., González Rodríguez, A., Van Sam, H., Khoo, E., Nguyen, N., Robiansyah, I., Rodríguez Correa, H., Sang, J., Song, Y.-G., Strijk, J., Sugau, J., Sun, W., Valencia-Ávalos, S., Westwood, M. 2020. The Red List of Oaks 2020. The Morton Arboretum. Lisle, IL, pp. 55.

Cavender-Bares, J. 2019. Diversification, adaptation, and community assembly ofthe American oaks (*Quercus*), a model clade for integrating ecology and evolution. *New Phytologist* 221: 669-692.

Christodoulou, M. D., Clark, J. Y., Culham, A. 2020. The Cinderella discipline: morphometrics and their use in botanical classification. *Botanical Journal of the Linnean Society* 194: 385-396.

Chuanromanee, T. S., Cohen, J. I., Ryan, G. L. 2019. Morphological Analysis of Size and Shape (MASS): An integrative software program for morphometric analyses of leaves. *Applications in Plant Sciences* 7: e11288.

Conte, A. L. 2021. Biosystematics and ecological approaches to the study of *Q. pubescens* s.l. in Southern Italy. PhD Thesis. Department of Bioscience and Territory, University of Molise, Italy.

Cornelissen T., Stiling P., Drake B. 2003. Elevated CO_2 decreases leaf fluctuating asymmetry and herbivory by leaf miners on two oak species. *Global Change Biology* 10: 27-36.

Curtu, A. L., Gailing, O., Finkeldey, R. 2007. Evidence for hybridization and introgression within a species-rich oak (*Quercus* spp.) community. *BMC Evolutionary Biology* 7: 218.

Curtu, A. L., Moldovan, I., Enescu, M., Craciunesc, I., Sofletea, N. 2011. Genetic differentiation between *Quercus frainetto* Ten. and *Q. pubescens* Willd. in Romania. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 39: 275-282.

Ćurčić, S., Pavićević, D., Radović, D., Vesović, N., Bekchiev, R., Čurčić, N., Guéorguiev, B. 2019. Current and predicted distribution of the rare and threatened beetle *Bolbelasmus* (*Bolbelasmus*) *unicornis* (Coleoptera: Geotrupidae) in Serbia. *European Journal of Entomology* 116: 413-424.

Čarni, A., Košir, P., Karadžić, B., Matevski, V., Redžić, S., Škvorc, Ž .2009. Thermophilous deciduous forests in Southeastern Europe. *Plant Biosystems* 143: 1-13.

de Rigo, D., Enescu, C. M., Houston Durrant, T., Caudullo, G., 2016. *Quercus cerris* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01b479+.

Denk, T., Grimm, G. W. 2010. The oaks of western Eurasia: traditional classifications and evidencefrom two nuclear markers. *Taxon* 59: 351-366.

Denk, T., Grimm, G.W., Manos, P.S., Deng, M., Hipp, A. L. 2017. An Updated Infrageneric Classification of the Oaks: Review of Previous Taxonomic Schemes and Synthesis of Evolutionary Patterns. In: Gil-Pelegrín, E., Peguero-Pina, J., Sancho-Knapik, D. (eds.), Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus *Quercus* L.. Tree Physiology, vol 7. Springer, Cham.

Dering, M., Chybicki, I. 2012. Assessment of genetic diversity in two-species oak seed stands and their progeny populations. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27: 2-9.

Desmond, S. C., Garner, M., Flannery, S., Whittemore, A. T., Hipp, A. L. 2021. Leaf shape and size variation in bur oaks: an empirical study and simulation of sampling strategies. *American Journal of Botany* 108: 1540-1554.

Di Pietro, R., Di Marzio, P., Antonecchia, G., Conte, A. L., Fortini, P. 2020. Preliminary characterization of the *Quercus pubescens* complex in southern Italy using molecular markers. *Acta Botanica Croatica* 79: 15-25.

Do, C., Waples, R. S., Peel, D., Macbeth, G. M., Tillett, B. J., Ovenden, J. R. 2014. NeEstimator V2: re-implementation of software for the estimation of contemporary effective population size (Ne) from genetic data. *Molecular Ecology Resources* 14: 209-214.

Dow, B. D., Ashley, M. V., Howe, H. F. 1995. Characterization of highly variable (GA/CT) n microsatellites in the bur oak, *Quercus macrocarpa*. *Theoretical and Applied Genetics* 91: 137-141.

Dragović, S., Onjia, A. 2006. Classification of soil samples according to their geographic origin using gamma-ray spectrometry and principal component analysis. *Journal of Environmental Radioactivity* 89: 150-158.

Dragović, S., Onjia, A. 2007.Artificial Neural Network Data Analysis for Classification of Soils Based on Their Radionuclide Content. *Russian Journal of Physical Chemistry A* 81: 1477-1481.

Durand, J., Bodénès, C., Chancerel, E., Frigerio, J. M., Vendramin, G. G., Sebastiani, F., Buonamici, A., Gailing, O., Koelewijn, H. P., Villani, F., Mattioni, C., Cherubini, M., Goicoechea, P. G., Herrán, A., Ikaran, Z., Cabané, C., Ueno, S., Alberto, F., Dumoulin, P.-Y., Guichoux, E., de Daruvar, A., Kremer, A., Plomion, C. 2010. A fast and cost-effective approach to develop and map EST-SSR markers: oak as a case study. *BMC Genomics* 11: 570.

Đeković, V., Anđelković, A., Spalević, V., Urošević, M., Lukić, S. 2016. Significance of surface water quaility for basin ecology. *Agriculture & Forestry* 62: 7-28.

Eaton, E., Caudullo, G., Oliveira, S., de Rigo, D., 2016. *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01c6df+.

Evanno, G., Regnaut, S., Goudet, J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14: 2611–2620.

Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V., Manea, M. 2012. The dynamic history ofthe Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics* 522: 122-149.

Filipović, D., Obradović-Arsić, D. 2011. Ocena stanja životne sredine u opštini Sopot kao uslov održivog razvoja područja opštine. *Glasnik srpskog geografskog društva* 4: 27-42.

Filipović, V., Popović, V., Subić, J. 2013. Organic Agriculture And Sustainable UrbanDevelopment: The Belgrade – Novi Sad Metropolitan Area Case Study. In: Proceedings of the Second International Scientific Conference, Employment, Education and Entrepreneurship (EEE2013), Faculty of Business Economics and Entrepreneurship Belgrade, Belgrade, Serbia, 16-18 October 2013, pp. 337-353.

Flora of China. 2016. eFloras: Flora of China. http://www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=2.

Franjić, J., Liber, Z., Škvorc, Ž., Idžojtić, M., Šoštarić, R., Stančić, Z. 2006. Morphological and molecular differentiation of the Croatian populations of *Quercus pubescens* Willd. (Fagaceae). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 75: 123-130.

Gajić, B., Vasković, N. 2003. Mineral assemblages and crystallization of the Kosmaj granitoids and its enclaves (Serbia). *Acta Mineralogica-Petrographica*, Abstract Series 1, Szeged, pp. 34.

Gajić, M. 1954. Šumske i livadske fitocenoze Kosmaja. *Arhiv bioloških nauka* 5: 1-16.

Gajić, M. 1962. Prilog poznavanju flore Kosmaja. *Glasnik muzeja šumarstva i lova* 2: 107-120.

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: 557-563.

González-Rodríguez, A., Oyama, K. 2005. Leaf morphometric variation in *Quercus affinis* and *Q. laurina* (Fagaceae), two hybridizing Mexican red oaks. *Botanical Journal of the Linnean Society* 147: 427-435.

Gordanić, S., Simić, A., Radanović, D., Marković, T., Mrđan, S., Vuković, S., Filipović, V., Mikić, S., Moravčević, Đ. 2021. Morphological definition populations of *Allium ursinum* L. from the western part of the Republic of Serbia. In: Vaško, Ž. (ed.), Proceedings od X International Symposium on Agricultural Sciences AgroReS. 27-29, May, 2021, Trebinje, Bosnia and Herzegovina, pp. 104-112.

Greuter, W., Burdet, H. M., Long, G. 1986. Med-Checklist. A critical inventory of vascular plants of the circummediterranean countries. 3, Dicotyledones (Convolvulaceae-Labiatae). Editions des Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Geneve. Secretariat Med-Checklist Botanischer Garten & Botanisches Museum Berlin-Dahlem.

Gugerli, F., Walser, J.-C., Dounavi, K., Holderegger, R., Finkeldey, R. 2007. Coincidence of small-scale spatial discontinuities in leaf morphology and nuclear microsatellite variation of *Quercus petraea* and *Q. robur* in a mixed forest. *Annals of Botany* 99: 713-722.

Hódar, J. A. 2002. Leaf fluctuating asymmetry of Holm oak in response to drought under contrasting climatic conditions. *Journal of Arid Environments* 52: 233-243.

Huang, C., Zhang, Y., Bartholomew, B. 1999. Fagaceae. In: Wu, Z.-Y., Raven, P. H. (eds.), Flora of China 4. Cycadaceae through Fagaceae. Science Press and Missouri Botanical Garden Press, Beijing, St. Louis, pp. 314-400.

Hubert, F., Grimm, G. W., Jousselin, E., Berry, V., Franc, A., Kremer, A. 2014. Multiple nuclear genes stabilize the phylogenetic backbone of the genus *Quercus*. *Systematics and Biodiversity* 12: 405-423.

Ilić, M. M., Stojković, S., Rundić, Lj., Ćalić, J., Sandić, D. 2016. Application of the geodiversity index for the assessment of geodiversity in urban areas: an example of the Belgrade city area, Serbia. *Geologia Croatica* 69/3.

Ivanković Tatalović, L., Anđelić, B., Jelić, M., Kos, T., A. Benítez H., Šerić Jelaska, L. 2020. Fluctuating asymmetry as a method of assessing environmental stress in two predatory carabid species within Mediterranean agroecosystems. *Symmetry* 12: 11.

Ivanović, A., Kalezić, M. 2012. Evoluciona morfologija - teorijske postavke i geometrijska morfometrija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.

Janković, M. M. 1973. Prilog poznavanju taksonomije, ekologije i cenologije hrastova (*Quercus*) đerdapskog područja. *Glasnik Instituta za botaniku i Botaničke bašte Univerziteta u Beogradu* 8: 9-34.

Jensen, R. J. 1990. Detecting shape variation in oak leaf morphology: a comparison of rotational-fit methods. *American Journal of Botany* 77: 1279-1293.

Jensen, R. J., Hokanson, S. C., Isebrands, J. G., Hancock, J. F. 1993. Morphometric variation in oaks of the Apostle Islands in Wisconsin: evidence of hybridization between *Quercus rubra* and *Q. ellipsoidalis* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 80: 1358-1366.

Jovanović, B. 2000. Dendrobiologija. University Press, Beograd.

Jovanović, M., Grbović, F., Milovanović, J., Nonić, M., Šijačić-Nikolić, M., Branković, S. 2022a. Patterns of leaf morphological variation in *Quercus frainetto* Ten. growing on different soil types in Serbia. *Archives of Biological Sciences* 74: 191–199.

Jovanović, M., Milovanović, J., Nonić, M., Šijačić-Nikolić, M. 2022b. Inter- and intraspecific variability of *Quercus cerris* L. and *Quercus frainetto* Ten. in the Šumadija region (Serbia) based on leaf geoemtric morphometrics. *Genetika* 54: 787-800.

Jovanović, M., Milovanović, J., Nonić, M., Šijačić-Nikolić, M. 2022c. Geometrijska morfometrija lista – nova metoda za utvrđivanje stepena varijabilnosti šumskog drveća. In: . Lazarević, R. (ed.), Nove tehnologije I prakse u poljoprivredni I šumarstvu. 24. novembar 2022. Akademija inženjerskih nauka Srbije – AINS, Odeljenje biotehničkih nauka, Beograd, pp. 128-147.

Jovanović, M., Milovanović, J., Nonić, M., Šijačić-Nikolić, M., Kerkez Janković, I., Grbović, F. 2023a. The effects of soil type, exposure and elevation on leaf size and shape in *Quercus cerris* L. *South-east European Forestry* 14: 27-36.

Jovanović, M., Kerkez Janković, I., Milovanović, J., Nonić, M., Šijačić-Nikolić, M. 2023b. Intraspecific variability of the sessile oak (*Quercus petraea* Matt. Liebl.) leaf traits from the Mount Kosmaj (Serbia). *Biology Bulletin*, doi: 10.1134/S1062359023602471.

Jovanović, M., Kerkez Janković, I., Milovanović, J., Nonić, M., Šijačić-Nikolić, M. 2023c. Intraspecific variability of *Quercus pubescens* Willd. leaves from the Outstanding Natural Landscape „Kosmaj" in Serbia. *Biology Bulletin*, in press.

Jović, Đ., Dražić, G., Dražić, D., Milovanović, J., Stanković, D. 2014. Evaluation of forests in the area of Mountain Kosmaj in relation to their environmental, social and economic functions. In: Dražić, G. (ed.), International Conference, Ecological improvement of devastated locations for sustainable development, Faculty of Applied Ecology Futura University Singidunum Belgrade, September 29th and 30th 2014, pp. 299-307.

Jurkšienė, G., Baranov, O. Y., Kagan, D. I., Kovalevič-Razumova, O. A., Baliuckas, V. 2020. Genetic diversity and differentiation of pedunculate (*Quercus robur*) and sessile (*Q. petraea*) oaks. *Journal of Forestry Research* 31: 2445-2452.

Kadović, R., Miletić, Z., Obratov-Petković, D., Belanović, S., Popović, I. 2003. Stanje kvaliteta nekih zemljišta Kosmaja sa stanovišta korišćenja lekovitog i aromatičnog bilja. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 88: 65-76.

Kalinowski, S. T. 2005, HP-Rare: a computer program for performing rarefaction on measures of allelic diversity. *Molecular Ecology Notes* 5: 187-189.

Kampfer, S., Lexer, C., Glössl, J., Steinkellner, H. 1998. Characterization of (GA)n microsatellite loci from *Quercus robur*. *Hereditas* 129: 183-186.

Katičić Bogdan, I., Kajba, D., Šatović, Z., Schüler, S., Bogdan, S. 2018. Genetic diversity of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in clonal seed orchards in Croatia, assessed by nuclear and chloroplast Microsatellites. *South-east European Forestry* 9: 29-46.

Kelleher, C.T., Hodkinson, T. R., Douglas, G. C., Kelly, D. L. 2005. Species distinction in Irish populations of *Quercus petraea* and *Q. robur*: Morphological versus molecular analyses. *Annals of Botany* 96: 1237-1246.

Kerkez Janković, I., Nonić, M., Devetaković, J., Ivetić, V., Šijačić-Nikolić, M., Aleksić, J. M. 2019. Technical overview of nuclear microsatellites for *Fagus* sp., and their utility in *F. sylvatica* from the central Balkans (Serbia). *Scandinavian Journal of Forest Research* 34: 545-556.

Kesić, L., Cseke, K., Orlović S., Stojanović, D. B., Kostić, S., Benke, A., Borovics, A., Stojnić, S., Avramidou, E. V. 2021. Genetic diversity and differentiation of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) populations at the southern margin of its distribution range—implications for conservation. *Diversity* 13: 371.

Kevey, B., Borhidi, A. 2005. The acidophilous forests of the Mecsek and their relationship with the Balkan-Pannonian acidophilous forests. *Acta Botanica Hungarica* 47: 273-368.

Klein L. L., Caito, M., Chapnick, C., Kitchen, C., O'Hanlon, R., Chitwood, D. H., Miller, A. J. 2017. Digital morphometrics of two North American grapevines (*Vitis*: Vitaceae) quantifies leaf variation between species, within species, and among individuals. *Frontiers in Plant Science* 8: 373.

Klingenberg, C. P. 2010. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics* 11: 623-635.

Klingenberg, C. P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11: 353-357.

Knollová, I., Chytrý, M. 2004. Oak-hornbeam forests of the Czech Republic: geographical and ecological approaches to vegetation classification. *Preslia* 76: 291-311.

Kostić, J. 2013. Uporedna analiza epidermisa lista vrsta roda *Quercus* L. (Fagales, Fagaceae). Master rad. Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Nišu.

Kremer, A., Dupouey, L. J., Deans, J. D., Cottrell, J., Csaikl, U., Finkeldey, R, Espinel, S., Jensen, J., Kleinchmit, J., Van Dam, B., Ducousso, A., Forrest, I., de Heredia, U. L., Lowe, A. J., Tutkova, M., Munro, R. C., Steinhoff, S., Badeau, V. 2002. Leaf morphological variation in mixed oak stands (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) in stable western European population. *Annals of Forest Science* 59: 777-787.

Kremer, A., Hipp, A. L. 2020. Oaks: an evolutionary success story. *New Phytologist* 226: 987-1011.

Kuhl, P. H., Giardina, C. R. 1982. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing* 18: 236-258.

Kurešević, L. M. 2013.Potencijalnost tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.

Kusi, J. 2013. Variations in phenotypic plasticity and fluctuating asymmetry of leaf morphology of three *Quercus* (oak) species in response to environmental factors. Master Thesis. Department of Biological Sciences, East Tennessee State University.

Ledig, F. H. 1992. Human impacts on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos* 63: 87-108.

Li, M., An, H., Angelovici, R., Bagaza, C., Batushansky, A., Clark, L., Coneva, V., Donoghue, M. J., Edwards, E., Fajardo, D., Fang, H., Frank, M. H., Gallaher, T., Gebken, S., Hill, T., Jansky, S., Kaur, B., Klahs, P. C., Klein, L. L., Kuraparthy, V., Londo, J., Migicovsky, Z., Miller, A., Mohn, R., Myles, S., Otoni, W. C., Pires, J. C., Rieffer, E., Schmerler, S., Spriggs, E., Topp, C. N., Van Deynze, A., Zhang, K., Zhu, L., Zink, B. M., Chitwood, D. H. 2018. Topological data analysis as a morphometric method: using persistent homology to demarcate a leaf morphospace. *Frontiers in Plant Science* 9: 553.

Li, Y., Zhang, Y., Liao, P. C., Wang, T., Wang, X., Ueno, S., Du, F. K. 2021. Genetic, geographic, and climatic factors jointly shape leaf morphology of an alpine oak, *Quercus aquifolioides* Rehder & E.H. Wilson. *Annals of Forest Science* 78: 64.

Linné, C. 1753. Species Plantarum. Vol 2. Laurentii Salvii, Stockholm.

Liu, Y., Li, Y., Song, J., Zhang, R., Yan, Y., Wang, Y., Du, F. K. 2018. Geometric morphometric analyses of leaf shapes in two sympatric Chinese oaks: *Quercus dentata* Thunberg and *Quercus aliena* Blume (Fagaceae). *Annals of Forest Science* 75: 90.

Liu, W., Zheng, L., Qi, D. 2020. Variation in leaf traits at different altitudes reflects the adaptive strategy of plants to environmental changes. *Ecology and Evolution* 10: 8166-8175.

Longauer, R., Gömöry, D., Paule, L., Blada, I., Popescu, F., Mankovska, B., Karnosky, D. F. 2004. Genetic effects of air pollution on forest tree species of the Carpathian Mountains. *Environmental Pollution* 130: 85-92.

Loudon, J. C. 1838. Arboretum et Fruticetum Brittanicum, vol III. Printed for the author by A. Spottiswoode, London.

Loudon, J. C. 1839. Part II. The Jussieuean arrangement. In: Loudon, J. C. (ed.) Loudon's Hortus Brittanicus A new edition. A. Spottiswode, London, pp. 491-704.

Lukinović, M., Jovanović, L. 2020. Birdwatching as a new reosurce for Serbian eco-turism development. In: Bevanda, V., Štetić, S. (eds.), 5th International Thematic Monograph – Modern Management Tools and Economy of Tourism Sector in Present Era, Belgrade. Association of Economists and Managers of the Balkans in cooperation with the Faculty of Tourism and Hospitality, Ohrid, North Macedonia, pp. 271-284.

MacDonald, G. M., Kremenetski, K. V., Beilman, D. W. 2008. Climate change and thenorthern Russian treeline zone. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 363: 2285-2299.

Manos, P. S., Doyle, J. J., Nixon, K. C. 1999. Phylogeny, biogeography, and processes of molecular differentiation in *Quercus* subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 12: 333-349.

Manos, P. S., Zhou, Z. K., Cannon, C. H. 2001. Systematics of Fagaceae: Phylogenetic tests of reproductive trait evolution. *International Journal of Plant Sciences* 162: 1361-1379.

Marković, Č., Stojanović, A. 2015. Contributionto the knowledge of the fauna of bark beetles (Coleoptera: Curuculionidae: Scolytinae) of deciduous woody plants in Serbia. *Acta entomologica serbica* 20: 43-51.

Mauri, A., Enescu, C. M., Houston Durrant, T., de Rigo, D., Caudullo, G., 2016. *Quercus frainetto* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01de78+.

Menitsky, Y. L. 1984. Duby Azii. Nauka, St. Petersburg.

Milovanović, J. 2009. Ekološko-genetičke osnove varijabilnosti hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* agg. Ehrendorfer 1967) u Srbiji, Doktorksa disertacija. Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju "Futura", Beograd.

Milovanović, J., Šijačić-Nikolić, M. 2009. Primena molekularnih markera u konzervaciji genofonda šumskog drveća. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 99: 101-113.

Milovanović, J., Šijačić-Nikolić, M., Đorđević-Milošević, S. 2021. Zaštita ugroženih vrsta. Životna sredina i održivi razvoj, Univerzitet Singidunum, Beograd.

Mitteroecker, P., Gunz, P. 2009. Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary Biology* 36: 235-247.

Moeslund, J. E., Arge, L., Bøcher, P. K., Dalgaard, T., Svenning, J.-C. 2013. Topography as a driver of local terrestrial vascular plant diversity patterns. *Nordic Journal of Botany* 31: 129-144.

Morecroft, M. D., Woodward, F. I. 1996. Experiments on the causes of altitudinal differences in leaf nutrient contents, size, and δ13C of *Alchemilla alpina*. *Functional Ecology* 6: 730-740.

Morić, M. 2016. Genetska raznolikost hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u pokusnim nasadima s potomstvom iz odabranih sjemenskih sastojina. Doktorska disertacija. Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Mucina, L. 1997. Conspectus of Classes of European Vegetation. *Folia Geobotanica* 32: 117-172.

Muir, G., Schloetterer, C. 2005. Evidence for shared ancestral polymorphism rather than recurrent gene flow at microsatellite loci differentiating two hybridizing oaks (*Quercus* spp.). *Molecular Ecology* 14: 549-561.

Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije - Uprava za šume, Beograd.

Neophytou, C., Aravanopoulos, F. A., Fink, S., Dounavi, A. 2010. Detectinginterspecific and geographic differentiation patterns in two interfertileoak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L.) using smallsets of microsatellite markers. *Forest Ecology and Management* 259: 2026-2035.

Nikolić, S., Vujačić, V., Vidović, M., Mojović, Lj., Nikolić, B. 2015. Kvalitet vode reke Veliki Lug posle Mladenovca do ušća u Kubršnicu na teritoriji opštine Smederevska Palanka. *Ecologica* 22: 175-178.

Nixon, K. C. 1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectionalnames. *Annals of Forest Science* 50: 25-34.

Nonić, M., Šijačić-Nikolić, M. 2019. Genetic Diversity: Sources, Threats, and Conservation. In: Leal Filho, W., Azul, A., Brandli, L., Özuyar, P., Wall, T. (eds.) Life on Land. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham.

Nonić M., Šijačić-Nikolić M. 2021. Šumarska genetika. Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu.

Nonić, M., Milovanović, J., Šijačić-Nikolić, M. 2020. Conservation of biodiversity and forest genetic resources in Serbia. *Sibirskij Lesnoj Zurnal* 2020(4): 30-34.

Obratov-Petković, D., Popović, I., Kadović, R., Belanović, S., Miletić, Z. 2004. Ekološki pristup proučavanju lekovitih biljaka: odnos zemljište – biljka. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 89: 199-212.

Oh, S.-H., Manos, P. S. 2008. Molecular phylogenetics and cupule evolution in Fagaceae as inferred from nuclear CRABS CLAW sequences. *Taxon* 57:434-451.

Oldfield, S., Eastwood, A. 2007. The Red List of Oaks. Fauna & Flora International, Cambridge, UK.

Ørsted, A. S. 1871. Bidrag til Kundskab om Egefamilien. *Kongelige Danske videnskabernes selskabs skrifter* 6: 331-538.

Ortego, J., Bonal, R. 2010. Natural hybridisation between kermes (*Quercus coccifera* L.) and holm oaks (*Q. ilex* L.) revealed by microsatellite markers. *Plant Biology* 12: 234-238.

Özer, Y. T. 2014. Pattern of genetic diversity in Turkey oak (*Quercus cerris* L.) populations. Graduate School of Natural and Applied Sciences, Thesis.

Pančić, J. 1874. Flora kneževine Srbije, Dodatak „Flori kneževine Srbije", Beograd.

Pasta, S., de Rigo, D., Caudullo, G., 2016. *Quercus pubescens* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-MiguelAyanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T.,

Mauri, A. (eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e019e5c+.

Pavlović, M., Lakušić, D., Kovačević, N., Tzakou, O., Couladis, M. 2010. Comparative Analysis of Essential Oils of Six *Anthemis* Taxa from Serbia and Montenegro. *Chemistry & Biodiversity* 7: 1231-1244.

Peakall, R., Smouse, P. E. 2012. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research--an update. *Bioinformatics* 28:2537-2539.

Peňaloza-Ramirez, J. M., Gonzales-Rodriguez, A., Mendoza-Cuenca, L., Caron, H., Kremer, A., Oyama, K. 2010. Interspecific gene flow in a multispecies oak hybrid zone in the Sierra Tarahumara of Mexico. *Annals of Botany* 105: 389-399.

Petit, R. J., Duminil, J., Fineschi, S., Hampe, A., Salvini, D., Vendramin, G. G. 2005. Comparative organization of chloroplast, mitochondrial and nuclear diversity in plant populations. *Molecular Ecology* 14: 689-701.

Petritan, A. M., Petritan, I. C., Hevia, A., Walentowski, H., Bouriaud, O., Sánchez-Salguero, R. 2021. Climate warming predispose sessile oak forests to drought-induced tree mortality regardless of management legacies. *Forest Ecology and Management* 491: 119097.

Pigliucci M., Preston, K. A. 2004. Phenotypic Integration: Studying the Ecology and Evolution of Complex Phenotypes. Oxford University Press.

Plan upravljanja PIO „Kosmaj". 2020. Predlog plana upravljanja predelom izuzetnih odlika „Kosmaj" za period 2021. - 2030. godine. Javno preduzeće za gazdovanje šumama „Srbijašume", Šumsko gazdinstvo „Beograd".

Popović, V., Lučić, A., Rakonjac, Lj., Jovanović, S., Lazarević, I. 2020. Variability of morphometric characteristics of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) acorn and one-year old seedlings at the level of seed stand RS-2-2-qro-11-828. *Šumarstvo* 81-82: 1-11.

Popović, V., Lučić, A., Rakonjac, Lj., Jovanović, S., Lazarević, I. 2021. Variability of Hungarian oak (*Quercus frainetto* Ten.) from the territory of Lipovica according to morphological traits of seedlings. *Sustainable Forestry* 83-84: 27-36.

Popović, V., Lučić, A., Jovanović, S., Rakonjac, LJ. 2022. Variability of the characteristics of Sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl) seedlings from the Area of outstanding natural landscape "Avala". *Sustainable Forestry* 85-86: 53-63.

Pospíšková, M., Dostálek, J. 2009. Impact of forest management on genetic diversity of *Quercus petraea* populations: a case study from the Křivoklátsko Protected landscape area (Czech Republic). *Biodiversity: Research and Conservation* 13: 37-42.

Porobić, J. M. 2017. Geometrijsko-morfometrijske analize glavenog skeleta šakala (*Canis aureus*) i lisice (*Vulpes vulpes*) sa područja Srbije: biogeografski aspekti morfološke varijabilnosti. Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.

Pritchard, J. K., Stephens, M., Donnelly, P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.

Proietti, E., Filesi, L., Di Marzio, P., Di Pietro, R., Masin, R., Conte, L. A., Fortini, P. 2021. Morphology, geometric morphometrics, and taxonomy in relict deciduous oaks woods in northern Italy. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali* 32: 549-564.

Protić, LJ. 2020. New records of Miridae (Heteroptera) in Serbia. *Acta entomologica serbica* 25: 29-37.

Puerta-Pinero, C., Gomez, J. M., Hodar J. A. 2008. Shade and herbivory induce fluctuating asymmetry in a Mediterranean oak. *International Journal of Plant Sciences* 169: 631-635.

QGIS Development Team (2023). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org

Rellstab, C., Bühler, A., Graf, R., Folly, C., Gugerli, F. 2016. Using joint multivariate analyses of leaf morphology and molecular-genetic markers for taxon identification in three hybridizing European white oak species (*Quercus* spp.). *Annals of Forest Science* 73: 669-679.

Rivas-Martínez, S., Díaz, T. E., Fernández-González, F., Izco, J., Loidi, J., Lousã, M., Penas, Á. 2002. Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the Syntaxonomical checklist of 2001. *Itinera Geobotanica* 15: 5-922.

Rivas-Martínez, S., Fernández-González, F., Loidi, J., Lousã, M., Penas, Á. 2001. Syntaxonomical checklist of vascular plant communities of Spain and Portugal to association level. *Itinera Geobotanica* 14: 5-341.

Rivers, M.C., Beech, E., Bazos, I., Bogunić, F., Buira, A., Caković, D., Carapeto, A., Carta, A., Cornier, B., Fenu, G., Fernandes, F., Fraga, P., Garcia Murillo, P.J., Lepší, M., Matevski, V., Medina, F.M., Menezes de Sequeira, M., Meyer, N., Mikoláš, V., Montagnani, C., Monteiro-Henriques, T., Naranjo Suárez, J., Orsenigo, S., Petrova, A., Reyes-Betancort, J.A., Rich, T., Salvesen, P.H., Santana López, I., Scholz, S., Sennikov, A., Shuka, L., Silva, L.F., Thomas, P., Troia, A., Villar, J.L., Allen, D. J. 2019. European Red List of Trees. Cambridge, UK and Brussels, Belgium: IUCN. viii + 60pp.

Rodwell, J. S., Schaminée, J. H. J., Mucina, L., Pignatti, S., Dring, J., Moss, D. 2002. The Diversity of European Vegetation: an overview of phytosociological alliances and their relationships to EUNIS habitats. National Reference Centre for Agriculture, Nature and Fisheries, Wageningen.

Rohlf, F. J. 2015. The tps series of software. *Hystrix the Italian Journal of Mammology* 26: 9-12.

Roleček, J. 2005.Vegetation types of dry-mesic oak forests in Slovakia. *Preslia* 77: 241-261.

Rousakova, V., Tzonev, R. 2003. Syntaxonomy of the oak forests in the region of Pleven (Danube Plain in Bulgaria). *Fitosociologia* 40: 23-31.

Rowland, D. L. 2001. Diversity in physiological and morphological characteristics of four cottonwood (*Populus deltoides* var. *wislizenii*) populations in New Mexico: evidence for a genetic component of variation. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 845-853.

Rozendaal, D. M. A., Hurtado, V. H., Poorter, L. 2006. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature. *Functional Ecology* 20: 207-216.

Sabaté, S., Gracia, G.A., Sánchez, A. 2002. Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology and Management* 162: 23-37.

Salvini, D., Bruschi, P., Fineschi, S., Grossoni, P., Kjaer, E. D., Vendramin, G. G. 2009. Natural hybridisation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. within an Italian stand as revealed by microsatellite fingerprinting. *Plant Biology* 11: 758-765.

Samuel, R., Pinsker, W., Ehrendorfer, F. 1995. Electrophoretic Analysis of Genetic Variation within and between Populations of *Quercus cerris*, *Q. pubescens*, *Q. petraea* and *Q. robur* (Fagaceae) from Eastern Austria. *Botanica Acta* 108: 290-299.

Schlichting, C. D., Levin, D. A. 1986. Phenotypic plasticity: an evolving plant character. *Biological Journal of the Linnean Society* 29: 37-47.

Schwarz, O. 1936. Entwurf zu einem natürlichen System der Cupuliferen und der Gattung *Quercus*L. *Notizblatt des Königl. botanischen Gartens und Museums zu Berlin-Dahlem Bd. 13* 116: 1-22.

Schwarz, O. 1964. *Quercus* L. In: Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Valentine, D. H., Walters, S. M., Webb, D. A., (eds.), Flora europaea, Vol. I. 1st edn. Cambridge: Cambridge University Press

Schwarz, O. 1993. *Quercus* L. In: Tutin, T. G., Burges, N. A., Chater, A. O., Edmondson, J. R., Heywood, V. H., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M., Webb, D. A. (eds.), Flora europaea, Vol. I. 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press.

Simeone, M. C., Cardoni, S., Piredda, R., Imperatori, F., Avishai, M., Grimm, G. W., Denk, T. 2018. Comparative systematics and phylogeography of *Quercus* Section *Cerris* in western Eurasia: inferences from plastid and nuclear DNA variation. *PeerJ* 6: e5793.

Slice, D. E., Bookstein, F. L., Marcus, L. F., Rohlf, F. J. 1998. A glossary for geometric morphometrics. State University of New York, New York.

Soto, A., Lorenzo, Z., Gh, L. 2003. Nuclear Microsatellite Markers for the Identification of *Quercus ilex* L. and *Q. suber* L. hybrids. *Silvae Genetica* 52: 63-66.

Sredojev, S. Pavković, D., Miljić, M. 2011. Mogućnost primene GIS-a u vrednovanju i zaštiti prirodnih vrednosti PIO „Kosmaj". *Zbornik radova – Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu* 59: 235-246.

Stace, C. A. 1982. Plant taxonomy and biosystematics. Edward Arnold Ltd.

Stajić, S. A. 2016. Određivanje šumskih fitocenoza Kosmaja kombinovanjem standardnog fitocenološkog metoda i fitointerpretacije. Doktorska disertacija. Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu.

Stajić, S., Čokeša, V., Miletić, Z., Eremija, S., Ćirković-Mitrović, T., Marković, M., Jovanović, F. 2020. Phytosociological characteristics of Sessile oak and Hornbeam forests (*Querco petraeae-Carpinetum betuli* Rudski 1949. s.l.) in the area of Kosmaj. *Sustainable Forestry* 81-82: 41-51.

Stajić, S., Cvjetićanin, R., Čokeša, V., Miletić, Z. 2018. Fitocenološke karakteristike zajednice brdske bukove šume (*Helleboro odori-Fagetum moesiacae* Soo & Borhidi 1960.) na Kosmaju. *Šumarstvo* 3-4, jul-decembar 2018.

Stajić, S., Cvjetićanin, R., Čokeša, V., Miletić, Z., Novaković-Vuković, M., Eremija, S., Rakonjac, LJ. 2021. Plant species richness and diversity in natural beech and oak dominated forests of Kosmaj protected area (Serbia). *Applied Ecology and Environmental Research* 19: 2617-2628.

Stajić, S., Krstić, M., Čokeša, V., Babić, V. 2019. Uticaj orografskih faktora na rasprostranjenje šumske vegetacije na Kosmaju. *Šumarstvo* 1-2, januar-jun 2019.

Stanković, D., Božović, S., Zečević, R. 2014. Biljke kao bioindikatori stanja životne sredine. *Ecologica* 21: 135-139.

Steinkellner, H., Fluch, S., Turetschek, E., Lexer, C., Streiff, R., Kremer, A., Burg, K., Glössl, J. 1997. Identification and characterization of (GA/CT)n-microsatellite loci from *Quercus petraea*. *Plant Molecular Biology* 33: 1093-1096.

Sterry, P. 2007. Collins Complete Guide to British Trees. HarperCollins Publishers, Ltd., London.

Stojanović, LJ. 2007. (ed.). Hrast kitnjak (*Quercus petraea* agg. Ehrendorfer 1967) u Srbiji. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu.

Su, W., Song, Y. G., Qi, M., Du, F. 2021. Leaf morphological characteristics of section *Quercus* based on geometric morphometric analysis. *The Journal of Applied Ecology* 32: 2309-2315.

Sultan, S. E. 2000. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science* 5: 537-542.

Suzuki Spence, E., Fant, J.B., Gailing, O., Griffith, M. P., Havens, K., Hipp, A. L., Kadav, P., Kramer, A., Thompson, P., Toppila, R. 2021. Comparing Genetic Diversity in Three Threatened Oaks. *Forests* 12: 561.

Šijačić-Nikolić, M., Milovanović, J. 2007. Konzervacija i usmereno korišćenje šumskih genetičkih resursa. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 95: 7-21.

Šijačić-Nikolić, M., Milovanović, J., Bobinac, M., Savić-Pavićević, D., Brajušković, G., Diklić, M. 2009. Variability of the chloroplast DNA of sessile oak (*Quercus petraea* agg. Ehrendorfer 1967) in Serbia. *Archives of Biological Sciences* 61: 459-465.

Šijačić-Nikolić, M., Vilotić, D., Ivetić, V., Milovanović, J., Stanković, D., Nonić, M., Devetaković, J., D. Jokanović, D., Maksimović, Z., Popović, V., Rakonjac, Lj., Lučić, A., Ćirković-Mitrović, T., Orlović, S., Galović, V., Pilipović, A., Stojnić, S., Kovačević, B., Trudić, B. 2016. Nacionalni program konzervacije i usmerenog korišćenja šumskih genetičkih resursa Republike Srbije za period 2016-2025. godina. Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Institut za Šumarstvo – Beograd, Iniverzitet u Novom Sadu – Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu.

Šijačić-Nikolić, M., Nonić, M. 2019). Biological Diversity: Global Threats. In: Leal Filho, W., Azul, A., Brandli, L., Özuyar, P., Wall, T. (eds.), Life on Land. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham.

Šijačić-Nikolić, M., Nonić, M, Kerkez Janković, I., Milovanović, J. 2021. Conservation of forest genetic resources through the example of native *Quercus* species from the "Košutnjak" park forest in Serbia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 875: 012002.

Šijačić-Nikolić, M. 2023. Četvrti periodični izveštaj po Ugovoru broj V-01 4011-119 od 19.10.2021. godine, izrada studije: Identifikovanje, praćenje i konzervacija genofonda endemičnih, retkih i ugroženih drvenastih vrsta na području PIO „Kosmaj". Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu.

Šijačić-Nikolić, M., Kerkez Janković, I., Jovanović, M., Milovanović, J., Aleksić, J. M. 2023. Genetic diversity and genetic structure of three sympatric oak species in the Serbian Outstanding Natural Landscape "Kosmaj" assessed by nuclear microsatellites. *South-east European Forestry*, in press.

Topić, M. 2015. Fiziološki aspekti otpornosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), cera (*Quercus cerris* L.) i crne topole (*Populus nigra* L.) u uslovima vodnog deficita. Doktorska disertacija. Prirodno-metematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.

Torrance, A. W. 2010. Patent Law, HIPPO, and the Biodiversity Crisis. *John Marshall Review of Intellectual Property Law* 9: 624-656.

Trelease, W. 1924. The American Oaks. *Memoirs of the National Academy of Sciences* 20. Washington Government PrintingOffice, Washington, DC.

Tsukaya, H. 2005. Leaf shape: genetic controls and environmental factors. *The International Journal of Developmental Biology* 49: 547-555.

Tucić, B., Miljković, D. 2010. Fluctuating asymmetry of floral organ traits in natural populations of *Iris pumila* from contrasting light habitats. *Plant Species Biology* 25: 173-184.

Tynkevich, Y.O., Volkov, R.A. 2019. 5S Ribosomal DNA of distantly related *Quercus* species: molecular organization and taxonomic application. *Cytology and Genetics* 53: 459-466.

Vasiljević, N., Gavrilović, S., Šljukić, B. 2014. Karakter predela Mladenovca: očuvanje vrednosti primenom principa umrežavanja. *Zbornik radova – Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu* 62: 91-120.

Veselinović, M., Golubović-Ćurguz, V., Mitrović, S., Dražić, D., Čule, N., Nikolić, B., Jović, Đ. 2012. Microbiological activity of the forest soil in the areas within the territory of Belgrade. *Sustainable Forestry* 65-66: 83-96.

Viscosi, V. 2015. Geometric morphometrics and leaf phenotypic plasticity: assessing fluctuating asymmetry and allometry in European white oaks (*Quercus*). *Botanical Journal of the Linnean Society* 179: 335-348.

Viscosi, V., Antonecchia, G., Lepais, O., Fortini, P., Gerber, S., Loy, A. 2012. Leaf shape and size differentiation in white oaks: assessment of allometric relationships among three sympatric species and their hybrids. *International Journal of Plant Sciences* 173: 875-884.

Viscosi, V., Cardini, A. 2011. Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: a simplified protocol for beginners. *PLoS ONE* 6: e25630.

Viscosi, V., Fortini, P., Slice, D. E., Loy, A., Blasi, C. 2009a. Geometric morphometric analyses of leaf variation in four oak species of the subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Plant Biosystems* 143: 575-587.

Viscosi, V., Lepais, O., Gerber, S., Fortini, P. 2009b. Leaf morphologicalanalyses in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: a comparison of traditional and geometric morphometric methods. *Plant Biosystems* 143: 564-574.

Vukin, M., Milojković, D., Živanović, M. 2013. Ekološki potencijal nekih šumskih kompleksa na području Beograda u funkciji unapređenja stanja životne sredine. *Šumarstvo* 3-4, jul-decembar 2013.

Whittemore, A. T., Schaal, B. A. 1991. Interspecific gene flow in sympatric oaks. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 88: 2540-2544.

Willner, W., Grabherr, G. 2007. Die Wälder und Gebüsche Österreichs. Spektrum Akademischer Verlag.

Xu, H., Wang, H., Prentice, I. C., Harrison, S. P., Wang, G., Sun, X. 2021. Predictability of leaf traits with climate and elevation: a case study in Gongga Mountain, China. *Tree Physiology* 41: 1336-1352.

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., Sheets, D. H., Fink, W. L., 2004. Geometric Morphometrics for Biologists – A Primer. Academic Press.

Zhang, J. W., Marshall, J. D. 1995. Variation in carbon isotope discrimination and photosynthetic gas exchange among populations of *Pseudotsuga menziesii* and *Pinus ponderosa* in different environments. *Functional Ecology* 9: 402-412.

Zumwalde, B. A., McCauley, R.A., Fullinwider, I. J., Duckett, D., Spence, E., Hoban, S. 2021. Genetic, morphological, and environmental differentiation of an arid-adapted oak with a disjunct distribution. *Forests* 12: 465.

8. PRILOZI

Prilog 1. Floristički sastav zajednice sladuna i cera (prema Stajić, 2016)

Zajednica sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerridis* Rudski 1949.)		
Sprat drveća	edifikatori	cer (*Quercus cerris*), sladun (*Quercus frainetto*)
	subedifikatori	kitnjak (*Quercus petraea*), medunac (*Quercus pubescens*)
	crni jasen (*Fraxinus ornus*), grab (*Carpinus betulus*), klen (*Acer campestre*), divlja trešnja (*Prunus avium*), poljski brest (*Ulmus minor*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*).	
Sprat žbunja	**najviše prisutni**: jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), crnijasen (*Fraxinus ornus*), divlja ruža (*Rosa canina*), kalina (*Ligustrumvulgare*), trnjina (*Prunus spinosa*), klen (*Acer campestre*), dren(*Cornus mas*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*), poljski brest (*Ulmusminor*), sladun (*Quercus farnetto*), divlja trešnja (*Prunus avium*). **manje prisutni**: medunac (*Quercus pubescens*), svib (*Cornus sanguinea*), orah (*Juglans regia*), grab (*Carpinus betulus*), cer (*Quercus cerris*), kitnjak (*Quercus petraea*), žešlja (*Acer tataricum*), brekinja (*Sorbus torminalis*). **retko prisutni**: divlja jabuka (*Malus sylvestris*), oskoruša (*Sorbus domestica*), jasika (*Populus tremula*), poljska ruža (*Rosa arvensis*), beli jasen (*Fraxinus excelsior*), orlovi nokti (*Lonicera caprifolium*), *Rosa deseglisei*, pavit (*Clematis vitalba*).	
Sprat prizemne flore	podmladak cera (*Quercus cerris*), kukurek (*Helleborus odorus*), šumska pasjača (*Brachypodium sylvaticum*), talac (*Calamintha vulgaris*), šumska jagoda (*Fragaria vesca*), divlja ruža (*Rosa canina*), dlakava kupina (*Rubus canescens*), dlakava ljubičica (*Viola hirta*), ajdučica (*Mycelis muralis*), zečja stopa (*Geum urbanum*), orlovi nokti (*Lonicera caprifolium*), bljušt (*Tamus communis*), protivak (*Lysimachia punctate*), smrekasta mlečika (*Euphorbia cyparissias*), srcolisna češnjača (*Alliaria officinalis*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), repunjača (*Lapsana communis*), crni jasen (*Fraxinus ornus*), baršunasta pucavica (*Lychnis coronaria*), vijušac (*Bilderdykia convolvulus*), vijuk (*Festuca ovina*), gorska livadarka (*Poa nemoralis*), zvončica (*Campanula patula*).	

Prilog 2. Floristički sastav zajednice cera sa crnim jasenom (prema Stajić, 2016)

Zajednica cera sa crnim jasenom (*Fraxino orni-Quercetum cerridis* Stefanović 1968.)		
Sprat drveća	edifikatori	cer (*Quercus cerris*), crni jasen (*Fraxinus ornus*)
	poljski brest (*Ulmus minor*), kitnjak (*Quercus petraea*), divljatrešnja (*Prunus avium*), klen (*Acer campestre*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*), srebrna lipa (*Tilia tomentosa*).	
Sprat žbunja	crni jasen (*Fraxinus ornus*), dren (*Cornus mas*), glog (*Crataegus monogyna*), poljski brest (*Ulmus minor*), klen (*Acer campestre*), kalina (*Ligustrum vulgare*), trnjina (*Prunus spinosa*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*), divlja ruža (*Rosa canina*), svib (*Cornus sanguinea*), divlja trešnja (*Prunus avium*), orah (*Juglans regia*), crna zova (*Sambucus nigra*), srebrna lipa (*Tilia tomentosa*).	
Sprat prizemne flore	**najviše prisutni**: podmladak cera (*Quercus cerris*), šumska pasjača (*Brachypodium sylvaticum*), kukurek (*Helleborus odorus*), šumska jagoda (*Fragaria vesca*), tankolisna špargla (*Asparagus tenuifolius*), srcolisna češnjača (*Alliaria officinalis*), broćika (*Galium aparine*), vijušac (*Bilderdykia convolvulus*), zečja stopa (*Geum urbanum*), divlja ruža (*Rosa canina*), dlakava ljubičica (*Viola hirta*), šumska mlečika (*Euphorbia amygdaloides*), klen (*Acer campestre*). **manje prisutni**: crveni zdravac (*Geranium robertianum*), talac (*Calamintha vulgaris*), suzica (*Melica uniflora*), zaliz (*Polygonatum odoratum*), crni jasen (*Fraxinus ornus*), divlja paprika (*Cynanchum vincetoxicum*), ptičje mleko (*Ornithogalum pyramidale*), oštrika (*Carex divulsa*), dlakava kupina (*Rubus canescens*), kalina (*Ligustrum vulgare*), kopriva (*Urtica dioica*), poljski brest (*Ulmus minor*), divlja trešnja (*Prunus avium*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), bela ljubičica (*Viola alba*), orlovi nokti (*Lonicera caprifolium*), repunjača (*Lapsana communis*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*), pavlovac (*Aremonia agrimonoides*), kitnjak (*Quercus petraea*).	

Prilog 3. Floristički sastav zajednice kitnjaka i cera (prema Stajić, 2016)

Zajednica kitnjaka i cera (*Quercetum petraeae-cerridis* B. Jovanović 1979. s.l.)	
Sprat drveća	edifikatori kitnjak (*Quercus petraea*), cer (*Quercus cerris*) klen (*Acer campestre*), sladun (*Quercus frainetto*), grab (*Carpinus betulus*), bukva (*Fagus moesiaca*), divlja trešnja (*Prunus avium*), crni jasen (*Fraxinus ornus*), poljski brest (*Ulmus minor*), beli jasen (*Fraxinus excelsior*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*), jasika (*Populus tremula*).
Sprat žbunja	**najviše prisutni**: crni jasen (*Fraxinus ornus*), klen (*Acer campestre*), poljski brest (*Ulmus minor*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*). **manje prisutni**: dren (*Cornus mas*), divlja trešnja (*Prunus avium*), trnjina (*Prunus spinosa*), svib (*Cornus sanguinea*), divlja ruža (*Rosa canina*), grab (*Carpinus betulus*), kalina (*Ligustrum vulgare*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*), višesemeni glog (*Crataegus oxyacantha*), crna zova (*Sambucus nigra*), leska (*Corylus avellana*), kitnjak (*Quercus petraea*), beli jasen (*Fraxinus excelsior*), bradavičasta kurika (*Euonymus verrucosus*), jasika (*Populus tremula*), dunjarica (*Cotoneaster integerrimus*), kurika (*Euonymus europaeus*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), sladun (*Quercus frainetto*), cer (*Quercus cerris*).
Sprat prizemne flore	**najviše prisutni**: šumska pasjača (*Brachypodium sylvaticum*), ajdučica (*Mycelis muralis*), orlovi nokti (*Lonicera caprifolium*), kukurek (*Helleborus odorus*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), bljušt (*Tamus communis*). **manje prisutni**: crveni zdravac (*Geranium robertianum*), vilina trava (*Circaea lutetiana*), dlakava kupina (*Rubus canescens*), divlja ruža (*Rosa canina*), šumska mlečika (*Euphorbia amygdaloides*), talac (*Calamintha vulgaris*), cer (*Quercus cerris*), srcolisna češnjača (*Alliaria officinalis*), klen (*Acer campestre*), zečja stopa (*Geum urbanum*), vijušac (*Bilderdykia convolvulus*), divlja trešnja (*Prunus avium*), šumska jagoda (*Fragaria vesca*).

Prilog 4. Floristički sastav zajednice kitnjaka i graba (prema Stajić, 2016)

Zajednica kitnjaka i graba (*Querco petraeae-Carpinetum betuli* Rudski 1949. s.l.)		
Sprat drveća	edifikatori	kitnjak (*Quercus petraea*), grab (*Carpinus betulus*)
	najviše prisutni: crni jasen *(Fraxinus ornus*). **retko prisutni**: klen (*Acer campestre*), poljski brest (*Ulmusminor*), cer (*Quercus cerris*), sladun (*Quercus frainetto*).	
Sprat žbunja	grab (*Carpinus betulus*), crni jasen (*Fraxinus ornus*), višesemeni glog (*Crataegus oxyacantha*), klen (*Acer campestre*), dren *(Cornus mas*), kalina (*Ligustrum vulgare*), oštrolisna kostrika (*Ruscus aculeatus*), divlja ruža (*Rosa canina*), trnjina (*Prunus spinosa*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), svib *(Cornus sanguine*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*).	
Sprat prizemne flore	kitnjak (*Quercus petraea*), grab (*Carpinus betulus*), oštrolisna kostrika (*Ruscus aculeatus*), bljušt (*Tamus communis*), šumska mlečika (*Euphorbia amygdaloides*), bradavičak (*Cardamine bulbifera*), šumska pasjača (*Brachypodium sylvaticum*), bršnjan (*Hedera helix*), dlakava dobričica (*Glechoma hirsuta*), trepljasta oštrika (*Carex pilosa*), šumska oštrika (*Carex sylvatica*), crvenopega trstika (*Chaerophyllum temulum*), višesemeni glog (*Crataegus oxyacantha*), graor (*Lathyrus venetus*), kukurek (*Helleborus odorus*), klen (*Acer campestre*), orlovi nokti (*Lonicera caprifolium*), šumska jagoda (*Fragaria vesca*), vijušac (*Bilderdykia convolvulus*), ajdučica (*Mycelis muralis*), puzava ivica (*Ajuga reptans*).	

Prilog 5. Floristički sastav zajednice brdske bukve (prema Stajić, 2016)

Zajednica brdske bukve (*Helleboro odori-Fagetum moesiacae* Soo & Borhidi 1960)	
Sprat drveća	edifikatori bukva (*Fagus moesiaca*)
	retko prisutni: cer (*Quercus cerris*), kitnjak (*Quercus petraea*),klen (*Acer campestre*), grab (*Carpinus betulus*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*), sladun (*Quercus frainetto*).
Sprat žbunja	crni jasen (*Fraxinus ornus*), klen (*Acer campestre*), oštrolisnakostrika (*Ruscus aculeatus*), beli jasen (*Fraxinus excelsior*), bukva (*Fagus moesiaca*).
Sprat prizemne flore	podmladak bukve (*Fagus moesiaca*), žuta mrtva kopriva (*Lamium galeobdolon*), bradavičak (*Cardamine bulbifera*), klen (*Acer campestre*), kukurek (*Helleborus odorus*), ajdučica (*Mycelis muralis*), vilina trava (*Circaea lutetiana*), šumski čistac (*Stachys sylvatica*), šumska oštrika (*Carex sylvatica*), rogljačica (*Moehringia trinervia*), navala (*Dryopteris filix-mas*), srcolisna češnjača (*Alliaria officinalis*), bljušt (*Tamus communis*), mirisna ljubičica (*Viola odorata*), crveni zdravac (*Geranium robertianum*), bršljan (*Hedera helix*), šumska mlečika (*Euphorbia amygdaloides*), crna zova (*Sambucus nigra*), šumska ljubičica (*Viola sylvestris*), oštrolisna kostrika (*Ruscus aculeatus*), divlja trešnja (*Prunus avium*), vijušac (*Bilderdykia convolvulus*), zaliz (*Polygonatum odoratum*).

Prilog 6. Floristički sastav zajednice bukve i kitnjaka (prema Stajić, 2016)

Mešovita zajednica bukve i kitnjaka (*Querco petraeae-Fagetum moesiacae* Glišić 1971.)	
Sprat drveća	edifikatori bukva (*Fagus moesiaca*), kitnjak (*Quercus petraea*), cer (*Quercus cerris*), klen (*Acer campestre*), srebrna lipa (*Tilia tomentosa*), sladun (*Quercus frainetto*), jasika (*Populus tremula*), divlja trešnja (*Prunus avium*), krupnolisna lipa (*Tilia platyphyllos*), mleč (*Acer platanoides*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), grab (*Carpinus betulus*).
Sprat žbunja	jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), bukva (*Fagus moesiaca*), crna zova (*Sambucus nigra*), dren (*Cornus mas*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), beli jasen (*Fraxinus excelsior*), leska (*Corylus avellana*), crni glog (*Crataegus nigra*), divlja jabuka (*Malus silvestris*).
Sprat prizemne flore	žuta mrtva kopriva (*Lamium galeobdolon*), šumska oštrika (*Carex sylvatica*), navala (*Dryopteris filix-mas*), kupina (*Rubus hirtus*), kukurek (*Helleborus odorus*), bradavičak (*Cardamine bulbifera*), srcolisna češnjača (*Alliaria officinalis*), divlja trešnja (*Prunus avium*), vilina trava (*Circaea lutetiana*), lazarkinja (*Asperula odorata*), bršljan (*Hedera helix*), šumski čistac (*Stachys sylvatica*), dlakava ljubičica (*Viola hirta*), rogljačica (*Moehringia trinervia*), crveni zdravac (*Geranium robertianum*), cer (*Quercus cerris*), trepljasta oštrika (*Carex pilosa*), bukva (*Fagus moesiaca*), šumska ljubičica (*Viola sylvestris*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), šumska mlečika (*Euphorbia amygdaloides*), crni jasen (*Fraxinus ornus*), jezičasta kostrika (*Ruscus hypoglossum*), mirisna ljubičica (*Viola odorata*), šumska jagoda (*Fragaria vesca*), crna zova (*Sambucus nigra*).

Prilog 7. Floristički sastav veštački podignutih sastojina na staništu sladuna icera (prema Stajić, 2016)

Veštački podignute sastojine na staništu sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerridis* Rudski 1949.)	
Sastojine	• veštački podignuta sastojina smrče (*Picea abies* (L.) Karst), atlaskogkedra (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) i duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), • veštački podignuta sastojina duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)Franco), • veštački podignuta sastojina crnog bora *(Pinus nigra* Arnold), • veštački podignuta sastojina crnog bora (*Pinus nigra* Arnold) i belogbora (*Pinus sylvestris* L.) sa lužnjakom(*Quercus robur* L.).
Sprat drveća	**najviše prisutni**: veštački unešene vrste četinara (*Picea abies*, *Cedrus atlantica*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*), lužnjak (*Quercus robur*), cer (*Quercus cerris*), divlja trešnja (*Prunus avium*). **manje prisutni**: crni jasen (*Fraxinus ornus*), sladun (*Quercus frainetto*), klen (*Acer campestre*). **retko prisutni**: poljski brest (*Ulmus minor*), breza *(Betula pendula*), srebrna lipa (*Tilia tomentosa*), kitnjak (*Quercus petraea*) bukva (*Fagus moesiaca*), orah (*Juglans regia*).
Sprat žbunja	**najviše prisutni**: divlja trešnja (*Prunus avium*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), crni jasen (*Fraxinus ornus*). **manje prisutni**: poljski brest (*Ulmus minor*), svib (*Cornus sanguinea*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), crna zova (*Sambucus nigra*). **retko prisutni**: kupina (*Rubus hirtus*), kalina (*Ligustrum vulgare*), dren (*Cornus mas*), trnjina (*Prunus spinosa*), breza *(Betula pendula*), bukva (*Fagus moesiaca*), orah (*Juglans regia*), klen (*Acer campestre*).
Sprat prizemne flore	bljušt (*Tamus communis*), divlja trešnja (*Prunus avium*), crveni zdravac (*Geranium robertianum*), kukurek (*Helleborus odorus*), ajdučica (*Mycelis muralis*), šumska pasjača (*Brachypodium sylvaticum*), klen (*Acer campestre*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), kupina (*Rubus hirtus*), rogljačica (*Moehringia trinervia*), suzica (*Melica uniflora*), orlovi nokti (*Lonicera caprifolium*), šumska oštrika (*Carex sylvatica*), dlakava dobričica (*Glechoma hirsuta*), pavit (*Clematis vitalba*), cer (*Quercus cerris*).

Prilog 8. Floristički sastav veštački podignutih sastojina na staništu kitnjaka icera (prema Stajić, 2016)

Veštački podignute sastojine na staništu kitnjaka i cera(*Quercetum petraeae-cerridis* B. Jovanović 1979. s.l.)	
Sastojine	• veštački podignuta sastojina pensilvanijskog jasena (*Fraxinus pennsylvanica* Marsch.), • veštački podignuta sastojina bagrema (*Robinia pseudoacacia* L.), • veštački podignuta sastojina lužnjaka (*Quercus robur* L.),cera (*Quercus cerris* L.) i crnog bora (*Pinus nigra* Arnold), • veštački podignuta sastojina crnog bora (*Pinus nigra* Arnold), • veštački podignuta sastojina duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), • veštački podignuta sastojina kedra (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière), • veštački podignuta sastojina kedra (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) i kavkaske jele (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach)
Sprat drveća	**najviše prisutni**: cer (*Quercus cerris*), divljatrešnja (*Prunusavium*), klen (*Acer campestre*). **manje prisutni**: atlaski kedar (*Cedrus atlantica*), bagrem (*Robinia pseudoacacia*), crni bor (*Pinus nigra*), kitnjak (*Quercus petraea*), orah (*Juglans regia*), grab (*Carpinus betulus*), poljski brest (*Ulmus minor*). **retko prisutni**: duglazija (*Pseudotsuga menziesii*), pensilvanijskijasen (*Fraxinus pennsylvanica*), lužnjak (*Quercus robur*), bukva (*Fagus moesiaca*), crni jasen (*Fraxinus ornus*), kavkaska jela (*Abies nordmanniana*).
Sprat žbunja	**najviše prisutni**: svib (*Cornus sanguinea*), crni jasen (*Fraxinus ornus*), klen (*Acer campestre*), divlja trešnja (*Prunus avium*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), poljski brest (*Ulmus minor*), orah (*Juglans regia*). **manje prisutni**: crna zova (*Sambucus nigra*), kalina (*Ligustrum vulgare*), trnjina (*Prunus spinosa*), dren (*Cornus mas*), kitnjak (*Quercus petraea*), grab (*Carpinus betulus*). **retko prisutni**: kupina (*Rubus hirtus*), polegla ruža (*Rosaarvensis*), bagrem (*Robinia pseudoacacia*), divlja ruža (*Rosa canina*), cer (*Quercus cerris*), divlja kruška (*Pyrus pyraster*), gorski javor (*Acerpseudoplatanus*), srebrna lipa (*Tilia tomentosa*).
Sprat prizemne flore	šumska pasjača (*Brachypodium sylvaticum*), bljušt (*Tamus communis*), bršljan (*Hedera helix*), pavit (*Clematis vitalba*), šareni smrdelj (*Galeopsis speciosa*), kupina (*Rubus hirtus*), crveni zdravac (*Geranium robertianum*), broćika (*Galium aparine*), bela ljubičica (*Viola alba*), pavlovac (*Aremonia agrimonoides*), šumska jagoda (*Fragaria vesca*), divlja trešnja (*Prunus avium*), ajdučica (*Mycelis muralis*), ježevica (*Dactylis glomerata*), poljski brest (*Ulmus minor*), klen (*Acer campestre*), zečja stopa (*Geum urbanum*).

Prilog 9. Floristički sastav veštački podignutih sastojina na staništu brdske bukve(prema Stajić, 2016)

Veštački podignute sastojine na staništu brdske bukve (*Helleboro odori-Fagetum moesiacae* Soo & Borhidi 1960.)	
Sastojine	• veštački podignuta sastojina smrče (*Picea abies* (L.) Karst), • veštački podignuta sastojina oraha (*Juglans regia* L.).
Sprat drveća	**najviše prisutni**: bukva (*Fagus moesiaca*), klen (*Acer campestre*). **retko prisutni**: orah (*Juglans regia*), smrča (*Picea abies*), crni bor(*Pinus nigra*), kitnjak (*Quercus petraea*), mleč (*Acer platanoides*),divlja trešnja (*Prunus avium*), cer (*Quercus cerris*), poljski brest (*Ulmus minor*).
Sprat žbunja	crna zova (*Sambucus nigra*), klen (*Acer campestre*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), apdovina (*Sambucus ebulus*), kupina (*Rubus hirtus*), svib (*Cornus sanguinea*), poljski brest (*Ulmus minor*).
Sprat prizemne flore	**najčešće prisutni**: vilina trava (*Circaea lutetiana*), bradavičak (*Cardamine bulbifera*), navala (*Dryopteris filix-mas*), crveni zdravac (*Geranium robertianum*), ženska paprat (*Athyrium filix femina*), bljušt (*Tamus communis*). **retko prisutni**: dlakava kupina (*Rubus canescens*), šumska pasjača (*Brachypodium sylvaticum*), šumska oštrika (*Carex sylvatica*), kukurek (*Helleborus odorus*), žuta mrtva kopriva (*Lamium galeobdolon*), broćika (*Galium aparine*), mišjakinja (*Stellaria media*), milogled (*Sanicula europaea*), trepljasta oštrika (*Carex pilosa*), crveni štavalj (*Rumex sanguineus*), srcolisna češnjača (*Alliaria officinalis*), šumski čistac (*Stachys sylvatica*), kupina (*Rubus hirtus*), ustupnik (*Scrophularia nodosa*), šareni smrdelj (*Galeopsis speciosa*), orah (*Juglans regia*), kozlac (*Arum maculatum*), pavit (*Clematis vitalba*), poljski brest (*Ulmus minor*), svib (*Cornus sanguinea*), medveđa šapa (*Heracleum sphondylium*), šumska ljubičica (*Viola sylvestris*), rogljačica (*Moehringia trinervia*), bršljan (*Hedera helix*), bukva (*Fagus moesiaca*), ajdučica (*Mycelis muralis*), ptičje mleko (*Ornithogalum pyramidale*).

Prilog 10. Floristički sastav veštački podignutih sastojina na staništu bukve ikitnjaka (prema Stajić, 2016)

Veštački podignute sastojine na staništu bukve i kitnjaka(*Querco petraeae-Fagetum moesiacae* Glišić 1971.)	
Sastojine	• veštački podignuta sastojina lužnjaka (*Quercus robur* L.), • veštački podignuta sastojina duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco).
Sprat drveća	veštački unešeni lužnjak (*Quercus robur*) i duglazija (*Pseudotsuga menziesii*), kitnjak (*Quercus petraea*), bukva (*Fagus moesiaca*), cer (*Quercus cerris*), grab (*Carpinus betulus*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), sitnolisna lipa (*Tilia cordata*), pajavac (*Acer negundo*).
Sprat žbunja	crni jasen (*Fraxinus ornus*), dren (*Cornus mas*), jednosemeni glog (*Crataegus monogyna*), divlja trešnja (*Prunus avium* L.), bukva (*Fagus moesiaca*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), polegla ruža (*Rosa arvensis*), klen *(Acer campestre*), poljski brest (*Ulmus minor*), grab (*Carpinus betulus*), svib (*Cornus sanguinea*), leska (*Corylus avellana*), beli jasen (*Fraxinus excelsior*), orah (*Juglans regia*), crna zova (*Sambucus nigra*).
Sprat prizemne flore	žuta mrtva kopriva (*Lamium galeobdolon*), kupina (*Rubus hirtus*), bradavičak (*Cardamine bulbifera*), navala (*Dryopteris filix-mas*), crveni zdravac (*Geranium robertianum*), vilina trava (*Circaea lutetiana*), bukva (*Fagus moesiaca*), šumski čistac (*Stachys sylvatica*), bršljan (*Hedera helix*), suzica (*Melica uniflora*).

Prilog 11. Prikaz oznake selekcionisanih individua, odeljenja u kome su individue uzorkovane, koordinata (SGŠ – severna geografska širina, IGD – istočna geografska dužina), nadmorske visine (NV), nagiba terena (NT) i kategorije ekspozicije (Eksp., skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S – jug, SE – jugoistok, E – istok) za cer

Oznaka	Vrsta	Odeljenje	SGŠ	IGD	NV (m)	NT (%)	Eksp.
C 1	cer	4 (13)	44.47231	20.56615	405	15.8844	N
C 2	cer	3 (f)	44.47234	20.56329	415	29.87954	N
C 3	cer	3 (f)	44.47262	20.56283	414	29.65154	NE
C 4	cer	3 (d)	44.47309	20.56293	399	15.82908	NE
C 5	cer	2 (a)	44.47068	20.55701	407	39.19231	W
C 6	cer	2 (a)	44.47156	20.55712	416	34.61503	W
C 7	cer	2 (a)	44.47327	20.5577	416	32.88485	NW
C 8	cer	2 (a)	44.4741	20.55773	403	25.97242	NW
C 9	cer	1 (a)	44.46763	20.55518	407	34.08229	NW
C 10	cer	13 (2)	44.46595	20.59358	374	17.6472	W
C 11	cer	13 (b)	44.46527	20.5938	378	21.23827	W
C 12	cer	13 (a)	44.46483	20.59469	394	5.825595	SW
C 13	cer	13 (a)	44.46443	20.59474	394	28.68878	W
C 14	cer	13 (a)	44.46428	20.59491	397	27.174	SW
C 15	cer	13 (a)	44.4638	20.59593	407	29.39917	SW
C 16	cer	13 (a)	44.46294	20.59727	393	23.14514	S
C 17	cer	13 (a)	44.46377	20.59882	415	19.46767	S
C 18	cer	13 (a)	44.46398	20.59867	417	20.79528	S
C 19	cer	13 (c)	44.46656	20.59686	441	29.82615	N
C 20	cer	13 (c)	44.46666	20.59643	437	27.71031	NW
C 21	cer	13 (c)	44.46655	20.59641	437	27.71031	NW
C 22	cer	13 (a)	44.46318	20.60038	381	33.66506	SE
C 23	cer	13 (a)	44.46309	20.60014	381	33.66506	SE
C 24	cer	13 (a)	44.46318	20.59938	395	24.42881	S
C 25	cer	13 (a)	44.46339	20.59915	401	22.28014	S
C 26	cer	13 (b)	44.46356	20.5987	409	26.30947	S
C 27	cer	13 (a)	44.46385	20.60059	393	23.93989	SE
C 28	cer	13 (a)	44.46536	20.5989	433	23.1358	E
C 29	cer	13 (a)	44.46262	20.59875	372	28.89322	S
C 30	cer	13 (a)	44.4627	20.59823	382	35.34504	S
C 31	cer	14 (8)	44.46985	20.57571	518	13.91584	S
C 32	cer	14 (8)	44.47043	20.5759	520	8.962006	N
C 33	cer	14 (c)	44.47046	20.57544	519	12.52665	NW
C 34	cer	14 (c)	44.47027	20.57493	520	17.15852	NW
C 35	cer	14 (c)	44.46994	20.5747	522	20.74742	N
C 36	cer	14 (8)	44.46955	20.57465	537	23.05325	NE
C 37	cer	14 (b)	44.46737	20.57252	565	31.5935	E

Prilog 11. *nastavak*

Oznaka	Vrsta	Odeljenje	SGŠ	IGD	NV (m)	NT (%)	Eksp.
C 38	cer	14 (b)	44.46714	20.57235	568	28.60958	SE
C 39	cer	14 (b)	44.46683	20.57164	567	23.37238	S
C 40	cer	14 (b)	44.46668	20.57074	564	2.086653	SE
C 41	cer	14 (a)	44.46656	20.57026	565	7.456197	NE
C 42	cer	18 (d)	44.45146	20.55898	452	13.39545	N
C 43	cer	18 (d)	44.4517	20.55826	443	19.07006	NW
C 44	cer	21 (a)	44.451	20.56134	421	19.98944	E
C 45	cer	7 (10)	44.47304	20.5781	526	13.72595	S
C 46	cer	10 (a)	44.47359	20.57833	530	8.347257	SE
C 47	cer	10 (c)	44.47645	20.57841	534	21.15722	NE
C 48	cer	9 (a)	44.47805	20.57792	511	22.93038	N
C 49	cer	8 (1)	44.47843	20.57759	504	23.08974	N
C 50	cer	8 (1)	44.47893	20.5774	492	17.15821	N
C 51	cer	10 (a)	44.47362	20.5777	529	4.638683	S
C 52	cer	11 (c)	44.47045	20.57941	495	20.40384	S
C 53	cer	11 (c)	44.47017	20.57968	488	16.61308	S
C 54	cer	12 (d)	44.46442	20.58571	450	9.278309	SE
C 55	cer	14 (c)	44.46848	20.57125	562	16.84251	N
C 56	cer	-	44.46955	20.57594	515	12.76135	SE
C 57	cer	6 (g)	44.47612	20.56595	375	32.30615	SW
C 58	cer	7 (i)	44.47563	20.57218	469	11.86655	NW
C 59	cer	7 (j)	44.47662	20.57058	451	12.99205	NW
C 60	cer	7 (b)	44.47328	20.57764	528	6.587003	SW

Prilog 12. Prikaz oznake selekcionisanih individua, odeljenja u kome su individue uzorkovane, koordinata (SGŠ – severna geografska širina, IGD – istočna geografska dužina), nadmorske visine (NV), nagiba terena (NT) i kategorije ekspozicije (Eksp., skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S – jug, SE – jugoistok, E – istok) za kitnjak

Oznaka	Vrsta	Odeljenje	SGŠ	IGD	NV (m)	NT (%)	Eksp.
K 1	kitnjak	3 (f)	44.47196	20.56387	418	24.40282	N
K 2	kitnjak	3 (d)	44.47323	20.56204	411	25.02433	NE
K 3	kitnjak	2 (a)	44.47179	20.55729	416	34.61503	W
K 4	kitnjak	2 (a)	44.47261	20.55742	417	31.59602	W
K 5	kitnjak	2 (a)	44.47356	20.55781	409	30.14228	NW
K 6	kitnjak	1 (a)	44.46827	20.55548	386	31.21118	NW
K 7	kitnjak	14 (8)	44.46963	20.57572	518	13.91584	S
K 8	kitnjak	14 (7)	44.46776	20.57146	571	7.208061	NW
K 9	kitnjak	14 (b)	44.46738	20.57243	565	31.5935	E
K 10	kitnjak	14 (b)	44.46706	20.57226	559	39.68288	SE
K 11	kitnjak	14 (b)	44.46672	20.57181	555	32.92486	SE
K 12	kitnjak	14 (a)	44.46652	20.57114	561	21.79595	SE
K 13	kitnjak	14 (a)	44.46656	20.57038	565	7.456197	NE
K 14	kitnjak	14 (a)	44.46605	20.57032	565	18.43782	SE
K 15	kitnjak	16 (c)	44.46307	20.56305	543	40.82588	SE
K 16	kitnjak	17 (d)	44.46296	20.55997	545	31.10787	S
K 17	kitnjak	17 (d)	44.46228	20.55879	530	28.5407	S
K 18	kitnjak	17 (d)	44.4613	20.55795	513	34.31419	S
K 19	kitnjak	18 (d)	44.45185	20.56035	436	31.3329	NE
K 20	kitnjak	18 (d)	44.4517	20.55974	445	14.91021	NE
K 21	kitnjak	-	44.45037	20.56311	394	15.32758	SE
K 22	kitnjak	21 (b)	44.44948	20.5637	374	26.5271	S
K 23	kitnjak	19 (a)	44.44878	20.55648	435	22.14081	W
K 24	kitnjak	10 (a)	44.47365	20.57835	530	8.347257	SE
K 25	kitnjak	10 (c)	44.47479	20.57925	529	22.1505	E
K 26	kitnjak	10 (c)	44.47575	20.57886	527	28.84814	E
K 27	kitnjak	9 (a)	44.4778	20.57773	517	15.43007	N
K 28	kitnjak	10 (b)	44.47506	20.57793	539	1.340088	N
K 29	kitnjak	10 (a)	44.47424	20.57776	535	13.00807	S
K 30	kitnjak	10 (a)	44.47413	20.57779	535	13.00807	S
K 31	kitnjak	11 (c)	44.47109	20.57984	504	15.15136	SE
K 32	kitnjak	11 (c)	44.47142	20.58038	501	31.20477	SE
K 33	kitnjak	11 (e)	44.47183	20.58052	497	24.62167	NE
K 34	kitnjak	11 (d)	44.47104	20.58008	500	24.3455	SE
K 35	kitnjak	11 (c)	44.47048	20.57953	495	20.40384	S
K 36	kitnjak	12 (a)	44.46499	20.58513	462	20.01887	SW
K 37	kitnjak	12 (d)	44.46461	20.58616	452	16.56258	SE

Prilog 12. *nastavak*

Oznaka	Vrsta	Odeljenje	SGŠ	IGD	NV (m)	NT (%)	Eksp.
K 38	kitnjak	12 (a)	44.46582	20.5843	463	10.29434	S
K 39	kitnjak	12 (a)	44.46649	20.58371	468	7.314045	S
K 40	kitnjak	12 (a)	44.46647	20.58345	466	15.14802	SW
K 41	kitnjak	12 (a)	44.46679	20.58306	468	12.79935	S
K 42	kitnjak	12 (a)	44.46728	20.58242	472	3.303627	SW
K 43	kitnjak	14 (c)	44.46828	20.57106	565	15.78768	NW
K 44	kitnjak	14 (7)	44.46708	20.57088	565	7.250449	SW
K 45	kitnjak	11 (a)	44.47184	20.57833	511	6.90755	S
K 46	kitnjak	14 (e)	44.47113	20.57855	505	11.82495	SE
K 47	kitnjak	14 (e)	44.47086	20.57913	502	8.962009	S
K 48	kitnjak	14 (d)	44.47061	20.5776	504	17.59988	S
K 49	kitnjak	14 (a)	44.46733	20.57459	515	33.61709	SE
K 50	kitnjak	14 (a)	44.46661	20.57356	521	32.95123	SE
K 51	kitnjak	14 (a)	44.46595	20.57306	503	38.64899	SE
K 52	kitnjak	15 (a)	44.46404	20.56874	535	40.35892	SE
K 53	kitnjak	15 (a)	44.46237	20.56828	494	36.51455	E
K 54	kitnjak	15 (a)	44.4616	20.56709	506	13.00807	S
K 55	kitnjak	6 (g)	44.47602	20.56588	375	32.30615	SW
K 56	kitnjak	6 (g)	44.47628	20.5658	378	28.11031	W
K 57	kitnjak	6 (g)	44.47699	20.566	384	26.61116	W
K 58	kitnjak	7 (j)	44.47612	20.57077	459	16.78839	NW
K 59	kitnjak	7 (j)	44.47689	20.57107	454	12.46963	W
K 60	kitnjak	7 (m)	44.47735	20.57085	452	9.826202	W

Prilog 13. Prikaz oznake selekcionisanih individua, odeljenja u kome su individue uzorkovane, koordinata (SGŠ – severna geografska širina, IGD – istočna geografska dužina), nadmorske visine (NV), nagiba terena (NT) i kategorije ekspozicije (Eksp., skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S
– jug, SE – jugoistok, E – istok) za medunac

Oznaka	Vrsta	Odeljenje	SGŠ	IGD	NV (m)	NT (%)	Eksp.
M 1	medunac	13 (2)	44.46643	20.59348	376	16.5241	W
M 2	medunac	13 (2)	44.46619	20.59349	376	18.08761	W
M 3	medunac	13 (b)	44.46518	20.59426	382	20.56214	NW
M 4	medunac	13 (b)	44.46542	20.59372	373	23.18871	W
M 5	medunac	13 (b)	44.46522	20.59408	382	20.56214	NW
M 6	medunac	13 (b)	44.46508	20.59441	389	24.99989	W
M 7	medunac	13 (a)	44.46489	20.59476	396	32.80839	W
M 8	medunac	13 (a)	44.46421	20.59512	397	27.174	SW
M 9	medunac	13 (a)	44.4638	20.59588	407	29.39917	SW
M 10	medunac	13 (b)	44.46317	20.59728	393	23.14514	S
M 11	medunac	13 (a)	44.46292	20.59728	393	23.14514	S
M 12	medunac	13 (b)	44.46313	20.5975	393	24.70921	S
M 13	medunac	13 (b)	44.46359	20.59826	410	27.1855	S
M 14	medunac	13 (a)	44.46396	20.59863	417	20.79528	S
M 15	medunac	13 (b)	44.46395	20.59844	418	21.825	S
M 16	medunac	13 (1)	44.46467	20.59804	441	20.58864	S
M 17	medunac	13 (1)	44.46534	20.59761	449	9.278366	SW
M 18	medunac	13 (1)	44.46605	20.59736	454	4.490343	N
M 19	medunac	13 (c)	44.46651	20.59689	451	19.06684	N
M 20	medunac	13 (c)	44.46662	20.59645	437	27.71031	NW
M 21	medunac	13 (c)	44.46727	20.59693	424	31.58707	N
M 22	medunac	-	44.46816	20.5951	384	38.31684	N
M 23	medunac	13 (b)	44.4635	20.59888	408	24.05952	S
M 24	medunac	13 (b)	44.46541	20.59824	445	26.03899	SE
M 25	medunac	13 (a)	44.46553	20.59842	447	23.18882	E
M 26	medunac	21 (j)	44.4424	20.562	364	23.51513	S
M 27	medunac	21 (j)	44.44287	20.56269	370	21.57894	S
M 28	medunac	21 (j)	44.44317	20.56271	374	15.14591	SE
M 29	medunac	21 (j)	44.44356	20.56276	382	16.98801	SE
M 30	medunac	21 (c)	44.44232	20.56163	356	24.68874	S
M 31	medunac	7 (10)	44.47285	20.57824	520	13.96198	SE
M 32	medunac	10 (a)	44.4738	20.5784	531	8.561788	SE
M 33	medunac	10 (a)	44.47411	20.5788	529	18.86186	SE
M 34	medunac	10 (e)	44.47402	20.57918	523	24.62196	E
M 35	medunac	8 (1)	44.47873	20.5774	497	19.0416	N
M 36	medunac	8 (a)	44.47878	20.57705	491	17.73091	N
M 37	medunac	8 (a)	44.47877	20.57671	489	21.94309	N

Prilog 13. *nastavak*

Oznaka	Vrsta	Odeljenje	SGŠ	IGD	NV (m)	NT (%)	Eksp.
M 38	medunac	8 (a)	44.47875	20.57654	495	20.58911	N
M 39	medunac	8 (a)	44.479	20.57688	491	17.73091	N
M 40	medunac	9 (c)	44.47958	20.57702	463	37.37307	N
M 41	medunac	8 (a)	44.47923	20.57699	485	25.35444	N
M 42	medunac	10 (b)	44.47498	20.57774	538	0	W
M 43	medunac	10 (b)	44.47452	20.57811	538	8.197501	S
M 44	medunac	10 (a)	44.47403	20.57769	535	13.00807	S
M 45	medunac	10 (a)	44.4736	20.57775	529	4.638683	S
M 46	medunac	11 (c)	44.47032	20.57943	489	19.49824	S
M 47	medunac	11 (c)	44.47012	20.57973	484	16.23793	S
M 48	medunac	11 (c)	44.46992	20.58013	484	17.81834	S
M 49	medunac	11 (j)	44.46975	20.57971	479	15.8844	S
M 50	medunac	14 (16)	44.4702	20.57881	496	24.12125	S
M 51	medunac	12 (d)	44.46438	20.58558	452	11.45212	SE
M 52	medunac	12 (a)	44.46486	20.58522	464	16.04465	S
M 53	medunac	12 (d)	44.46431	20.58598	450	9.580824	SE
M 54	medunac	12 (a)	44.46528	20.58478	461	13.00796	SW
M 55	medunac	12 (a)	44.46564	20.58443	462	6.607212	SW
M 56	medunac	12 (a)	44.46598	20.58403	467	5.926864	SE
M 57	medunac	12 (a)	44.46634	20.58379	468	5.232513	E
M 58	medunac	12 (a)	44.46715	20.58262	472	3.303627	SW
M 59	medunac	7 (a)	44.47587	20.57722	539	4.049622	S
M 60	medunac	11 (a)	44.47162	20.57896	513	11.29373	S
M 61	medunac	11 (a)	44.4714	20.57862	508	10.72059	S
M 62	medunac	14 (a)	44.46737	20.57462	522	39.88996	SE
M 63	medunac	7 (j)	44.47655	20.57043	451	12.99205	NW
M 64	medunac	7 (a)	44.47652	20.57648	538	14.76419	NW
M 65	medunac	7 (b)	44.47339	20.57764	527	6.104163	S

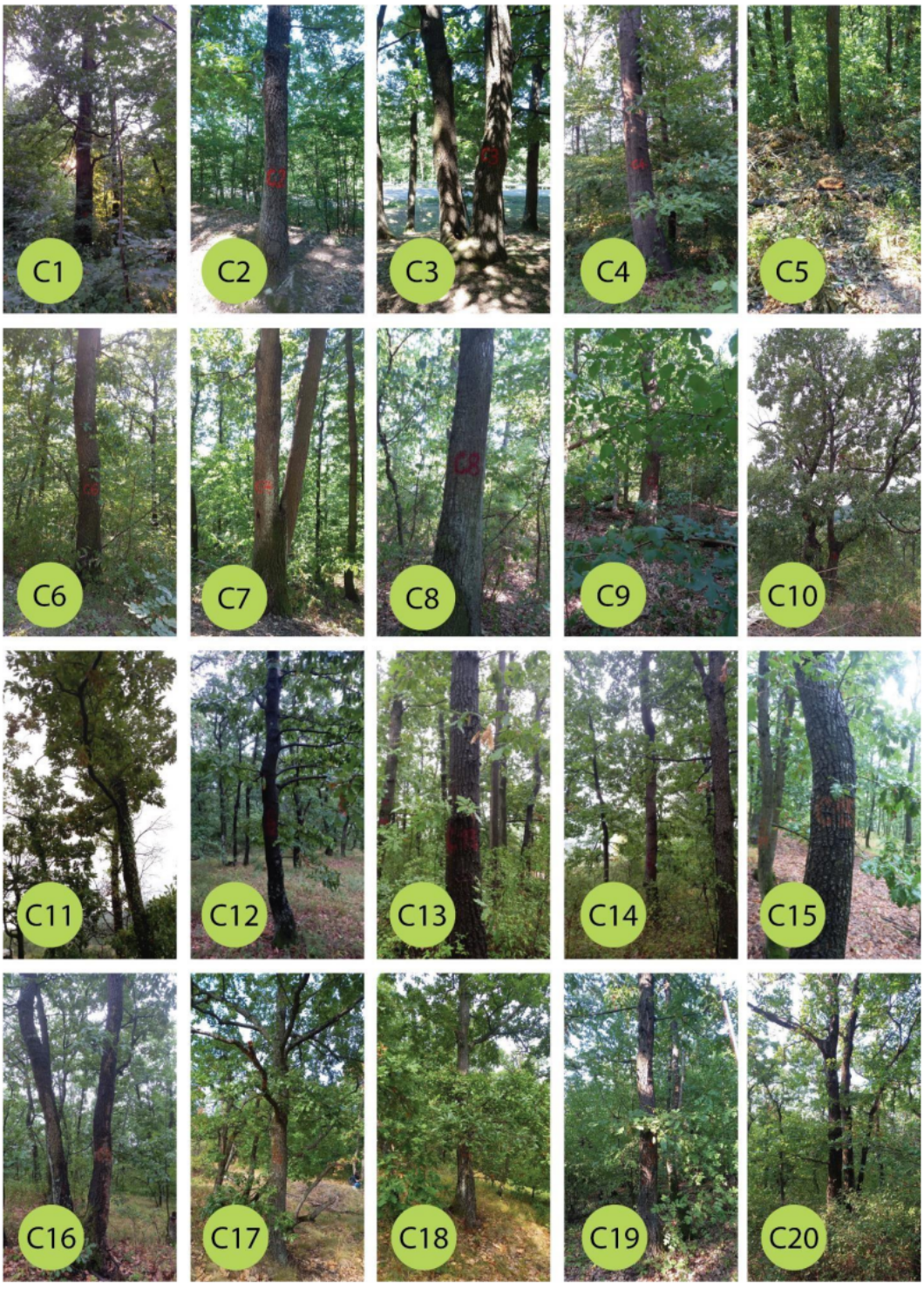
Prilog 14. Prikaz oznake selekcionisanih individua, odeljenja u kome su individue uzorkovane, koordinata (SGŠ – severna geografska širina, IGD – istočna geografska dužina), nadmorske visine (NV), nagiba terena (NT) i kategorije ekspozicije (Eksp., skraćenice: N – sever, NE – severoistok, W – zapad, NW – severozapad, SW – jugozapad, S – jug, SE – jugoistok, E – istok) za sladun

Oznaka	Vrsta	Odeljenje	SGŠ	IGD	NV (m)	NT (%)	Eksp.
S 1	sladun	4 (a)	44.47116	20.56602	432	26.30953	N
S 2	sladun	3 (f)	44.47261	20.56291	414	29.65154	NE
S 3	sladun	3 (d)	44.47407	20.5616	388	28.63754	N
S 4	sladun	2 (a)	44.47045	20.55706	407	39.19231	W
S 5	sladun	2 (a)	44.47109	20.55699	406	36.94087	W
S 6	sladun	2 (a)	44.47194	20.55731	412	34.40372	W
S 7	sladun	13 (a)	44.46465	20.59488	402	33.77652	W
S 8	sladun	13 (a)	44.46444	20.59466	394	28.68878	W
S 9	sladun	13 (a)	44.46428	20.59481	392	27.69631	SW
S 10	sladun	13 (a)	44.4641	20.59563	408	29.48936	SW
S 11	sladun	13 (a)	44.46384	20.59591	407	29.39917	SW
S 12	sladun	13 (a)	44.46341	20.5966	399	24.76092	S
S 13	sladun	13 (a)	44.46387	20.59884	415	19.46767	S
S 14	sladun	13 (b)	44.46406	20.59864	421	22.32709	S
S 15	sladun	13 (a)	44.46133	20.60065	350	11.37116	SE
S 16	sladun	13 (a)	44.46318	20.60027	381	33.66506	SE
S 17	sladun	13 (a)	44.46325	20.59968	398	24.70861	SE
S 18	sladun	13 (a)	44.4633	20.59951	400	21.16108	S
S 19	sladun	13 (a)	44.46317	20.59929	394	24.86402	S
S 20	sladun	13 (b)	44.46361	20.59873	409	26.30947	S
S 21	sladun	13 (a)	44.46372	20.59916	408	21.98467	S
S 22	sladun	13 (a)	44.46383	20.59963	409	26.66222	SE
S 23	sladun	13 (a)	44.46383	20.60035	398	26.67702	SE
S 24	sladun	13 (a)	44.46293	20.59895	393	26.94204	S
S 25	sladun	13 (a)	44.46268	20.59859	382	33.8442	S
S 26	sladun	14 (c)	44.4703	20.57502	520	17.15852	NW
S 27	sladun	14 (7)	44.46917	20.57737	478	27.22251	SE
S 28	sladun	14 (8)	44.46776	20.57194	572	4.446397	NE
S 29	sladun	14 (a)	44.46614	20.57007	567	15.14799	SE
S 30	sladun	14 (a)	44.46562	20.56961	558	25.03746	SE
S 31	sladun	16 (c)	44.46352	20.56625	550	25.51893	S
S 32	sladun	16 (b)	44.46385	20.56585	556	34.2417	SW
S 33	sladun	16 (c)	44.46338	20.56308	553	45.64063	SE
S 34	sladun	18 (d)	44.45162	20.56004	441	16.40749	NE
S 35	sladun	18 (d)	44.45143	20.55889	452	13.39545	N
S 36	sladun	18 (d)	44.45138	20.55974	447	15.80204	NE
S 37	sladun	21 (a)	44.4513	20.56061	434	27.0087	E

Prilog 14. *nastavak*

Oznaka	Vrsta	Odeljenje	SGŠ	IGD	NV (m)	NT (%)	Eksp.
S 38	sladun	21 (a)	44.45113	20.56121	425	23.26782	E
S 39	sladun	21 (a)	44.45074	20.56179	412	15.31278	W
S 40	sladun	21 (a)	44.44892	20.55909	446	8.566594	E
S 41	sladun	19 (a)	44.44929	20.55848	453	5.379992	SE
S 42	sladun	21 (j)	44.44273	20.56249	372	20.48505	S
S 43	sladun	21 (j)	44.44311	20.56292	373	15.23495	SE
S 44	sladun	10 (c)	44.47651	20.57836	534	21.15722	NE
S 45	sladun	8 (1)	44.47889	20.57754	492	17.15821	N
S 46	sladun	9 (a)	44.47673	20.57755	539	10.43444	NE
S 47	sladun	11 (c)	44.47025	20.57968	488	16.61308	S
S 48	sladun	12 (a)	44.46558	20.5845	462	6.607212	SW
S 49	sladun	12 (a)	44.46591	20.58415	463	10.29434	S
S 50	sladun	12 (a)	44.46643	20.58365	468	7.314045	S
S 51	sladun	12 (a)	44.46661	20.5835	468	6.338082	E
S 52	sladun	12 (a)	44.46684	20.58295	471	5.66948	S
S 53	sladun	4 (a)	44.46788	20.56876	548	19.2629	NW
S 54	sladun	14 (c)	44.46864	20.57159	562	18.66257	N
S 55	sladun	14 (a)	44.46688	20.57394	523	30.51777	SE
S 56	sladun	14 (a)	44.46487	20.57157	515	33.37973	S
S 57	sladun	14 (a)	44.4643	20.5704	500	45.37413	S
S 58	sladun	15 (a)	44.4611	20.56684	498	18.55382	S
S 59	sladun	15 (a)	44.46011	20.56624	467	17.49584	S
S 60	sladun	6 (g)	44.47612	20.56579	375	32.30615	SW
S 61	sladun	6 (g)	44.47685	20.56599	384	26.61116	W
S 62	sladun	6 (h)	44.4751	20.56661	377	26.62753	W

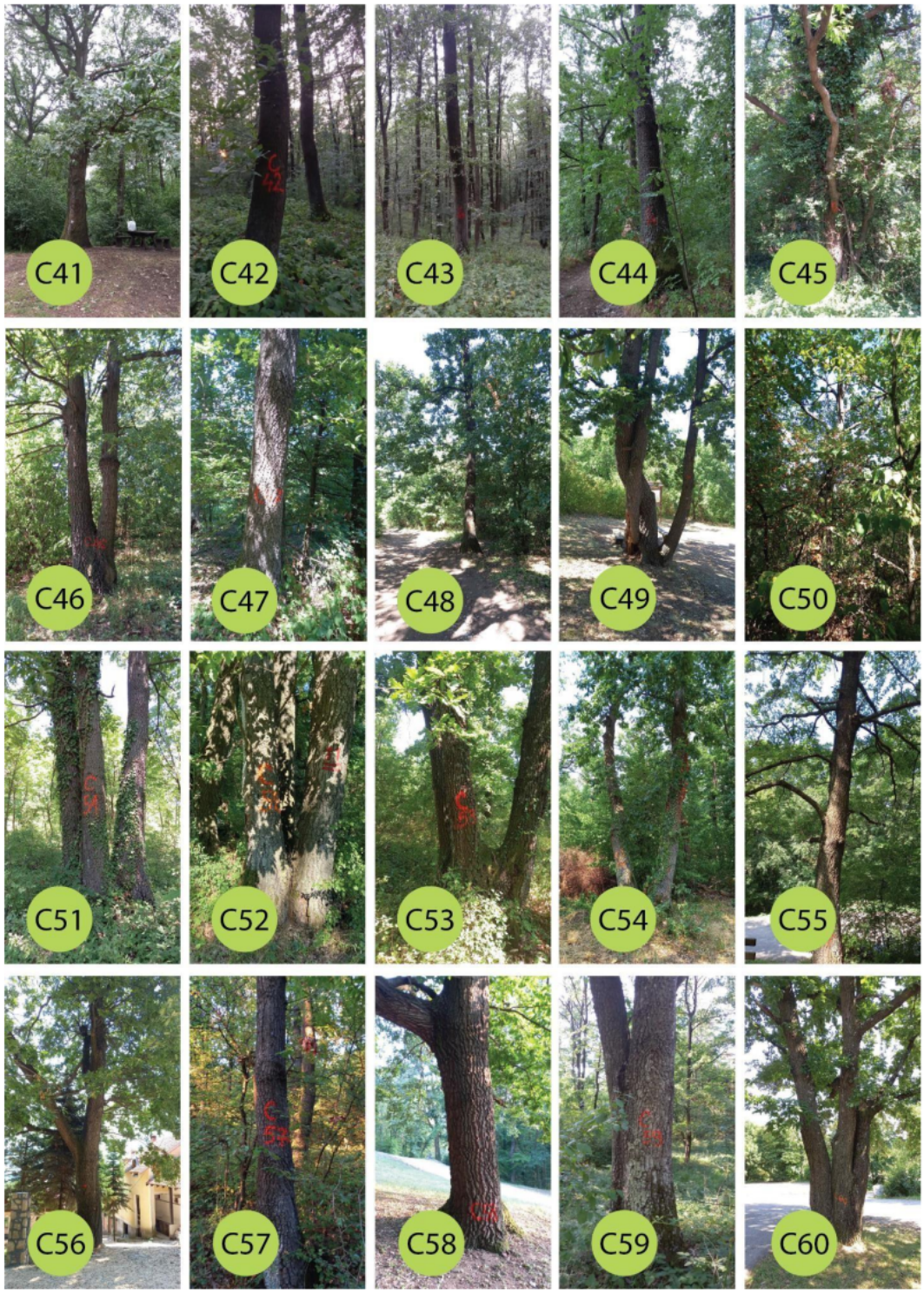
Prilog 15. Foto-tablica selekcionisanih individua cera



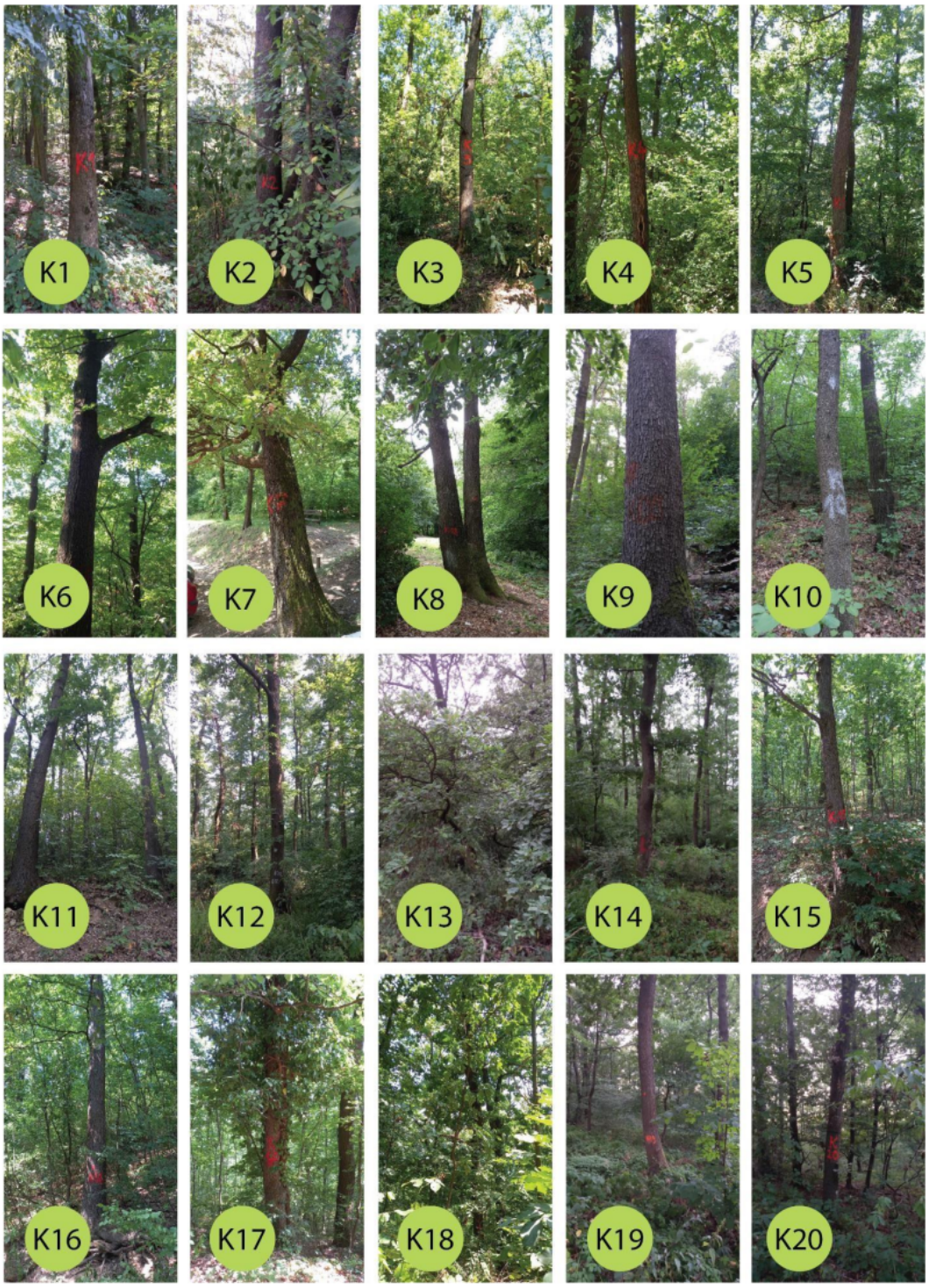
Prilog 15. *nastavak*



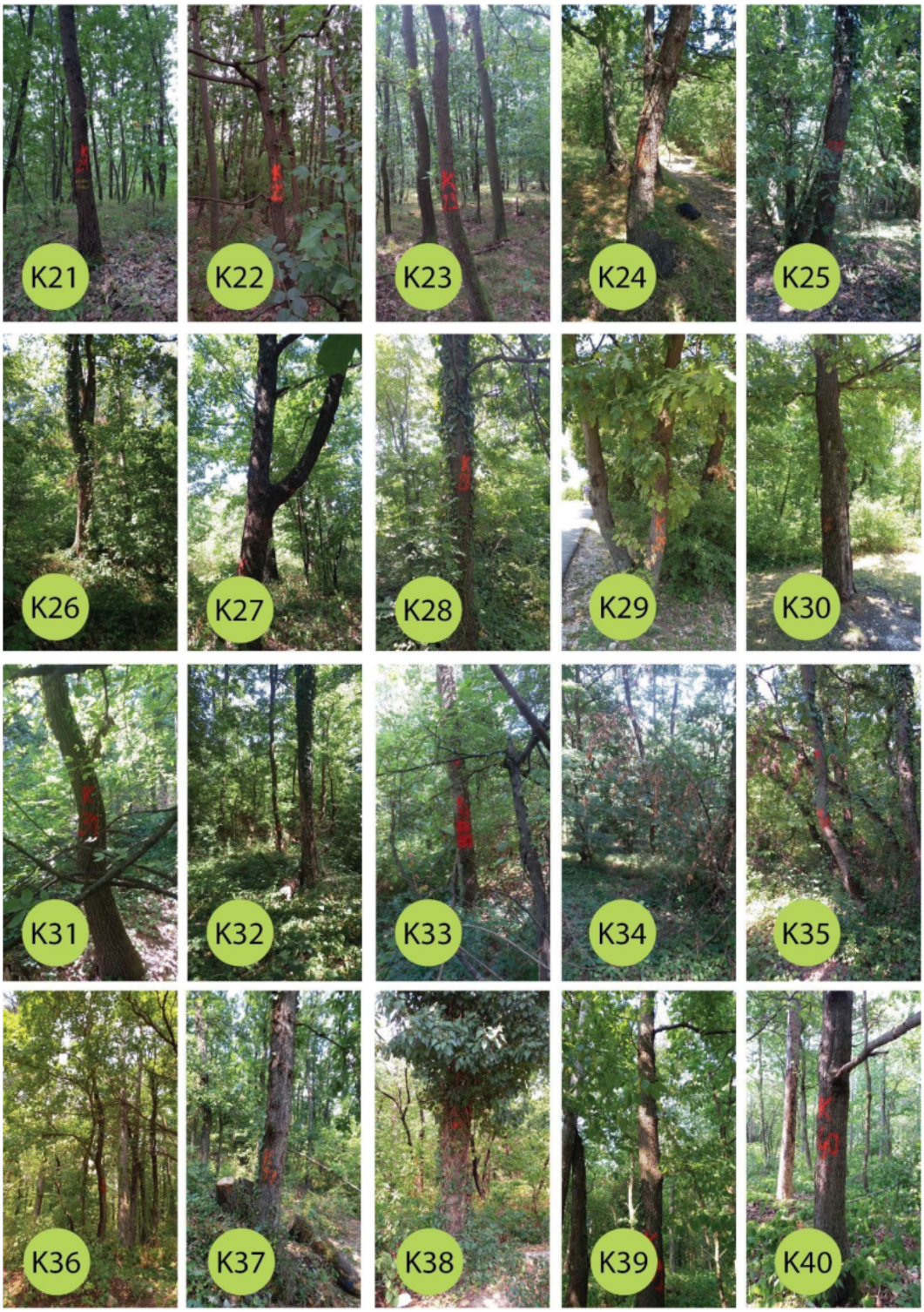
Prilog 15. *nastavak*



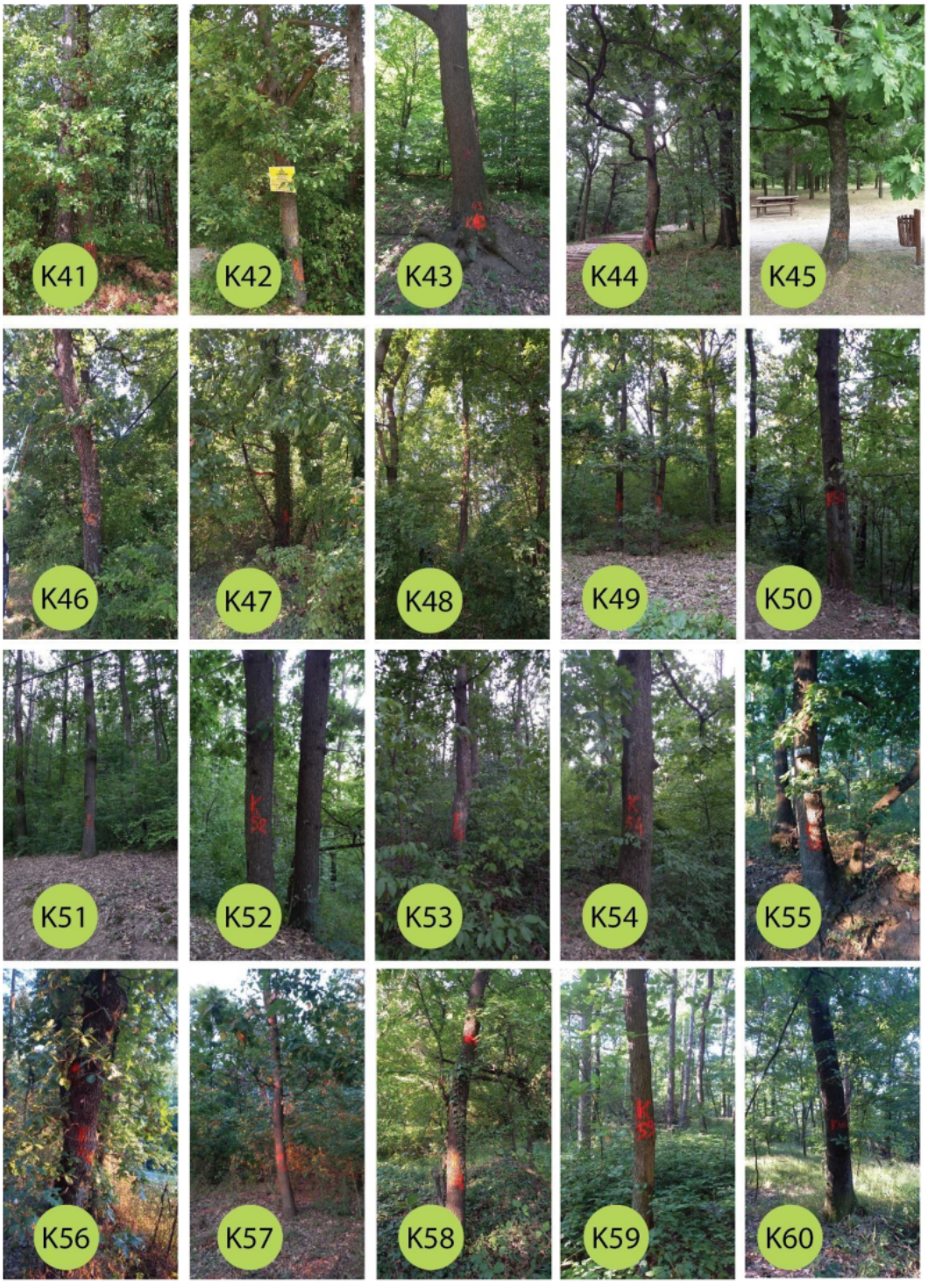
Prilog 16. Foto-tablica selekcionisanih individua kitnjaka



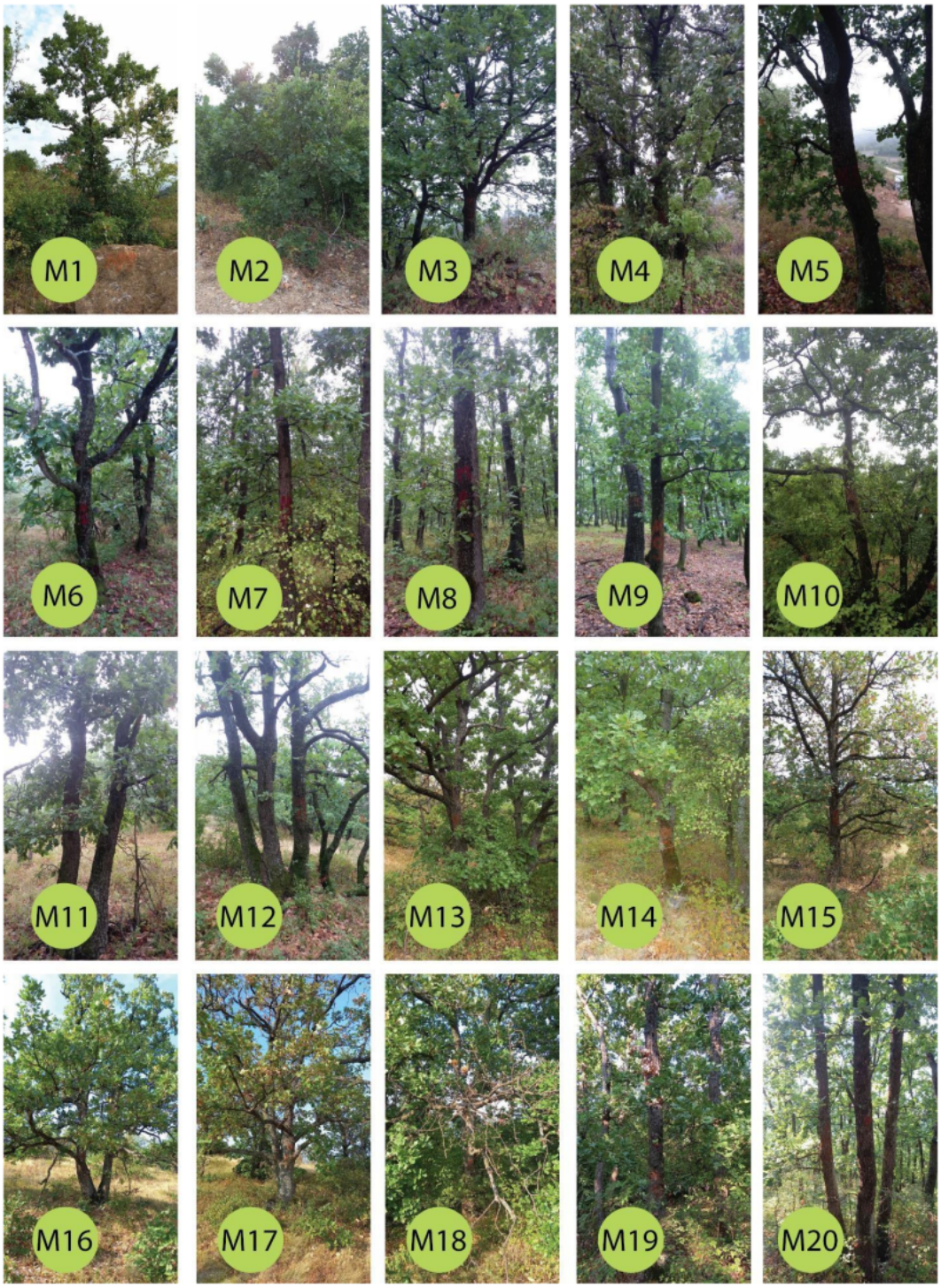
Prilog 16. *nastavak*



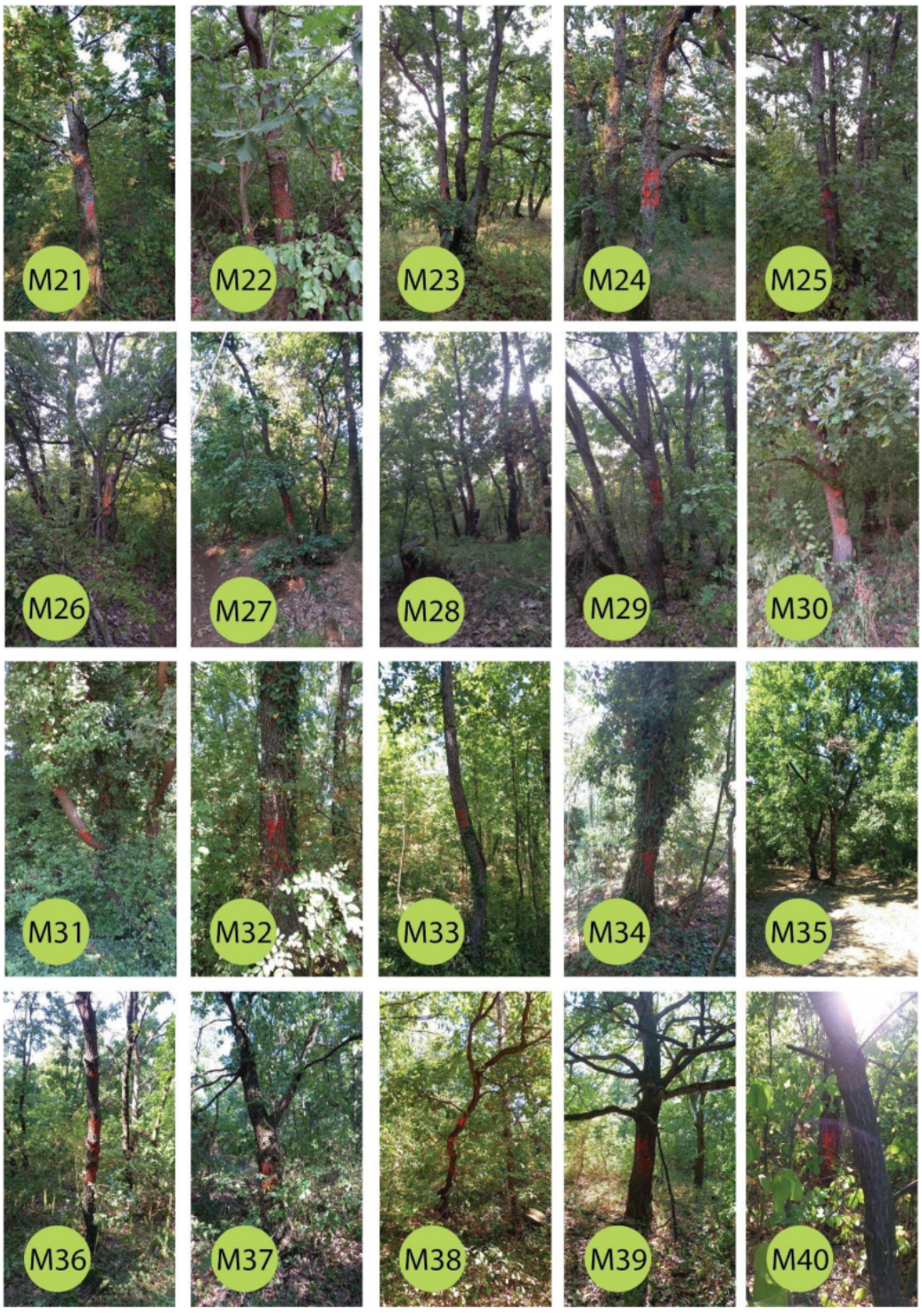
Prilog 16. *nastavak*



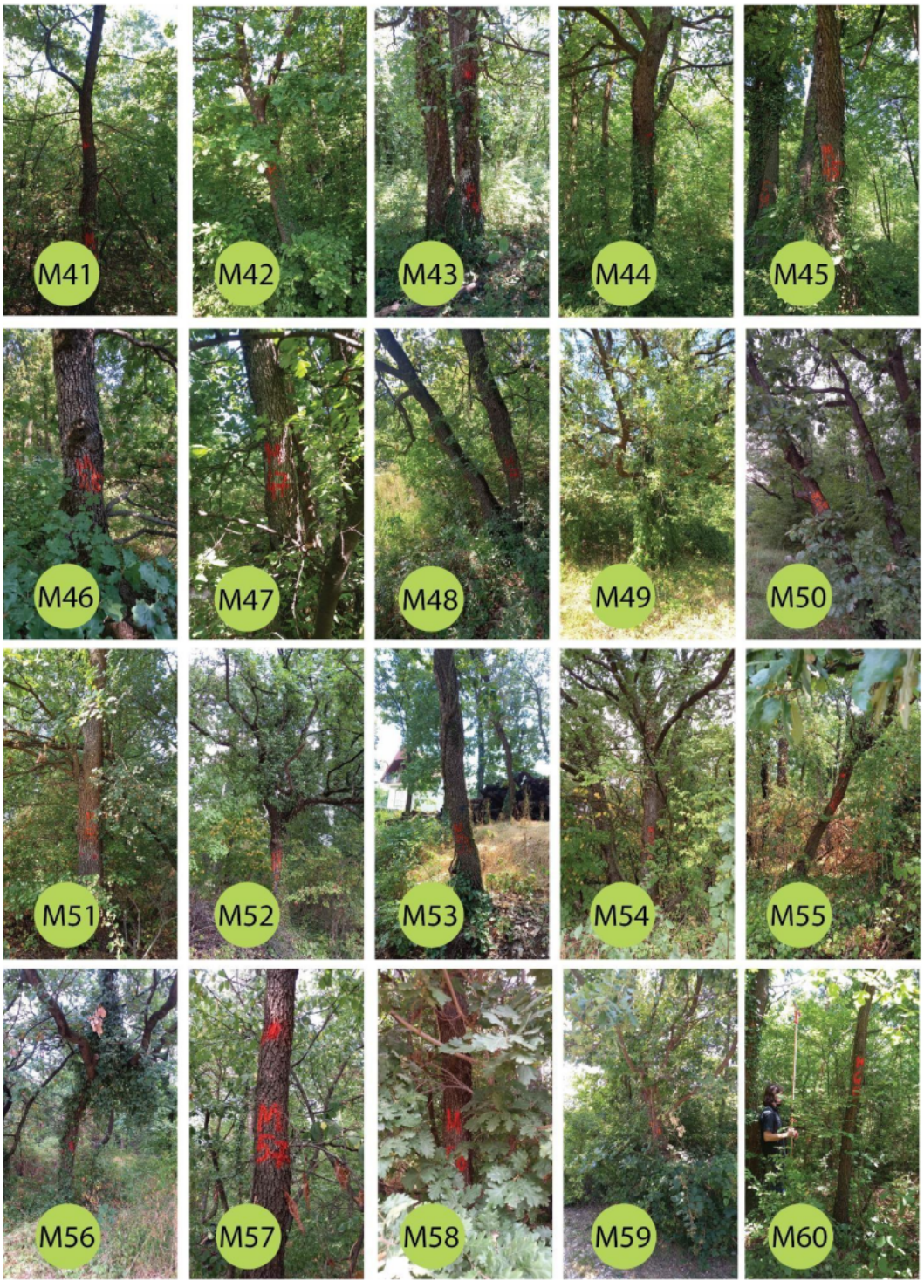
Prilog 17. Foto-tablica selekcionisanih individua medunca



Prilog 17. *nastavak*



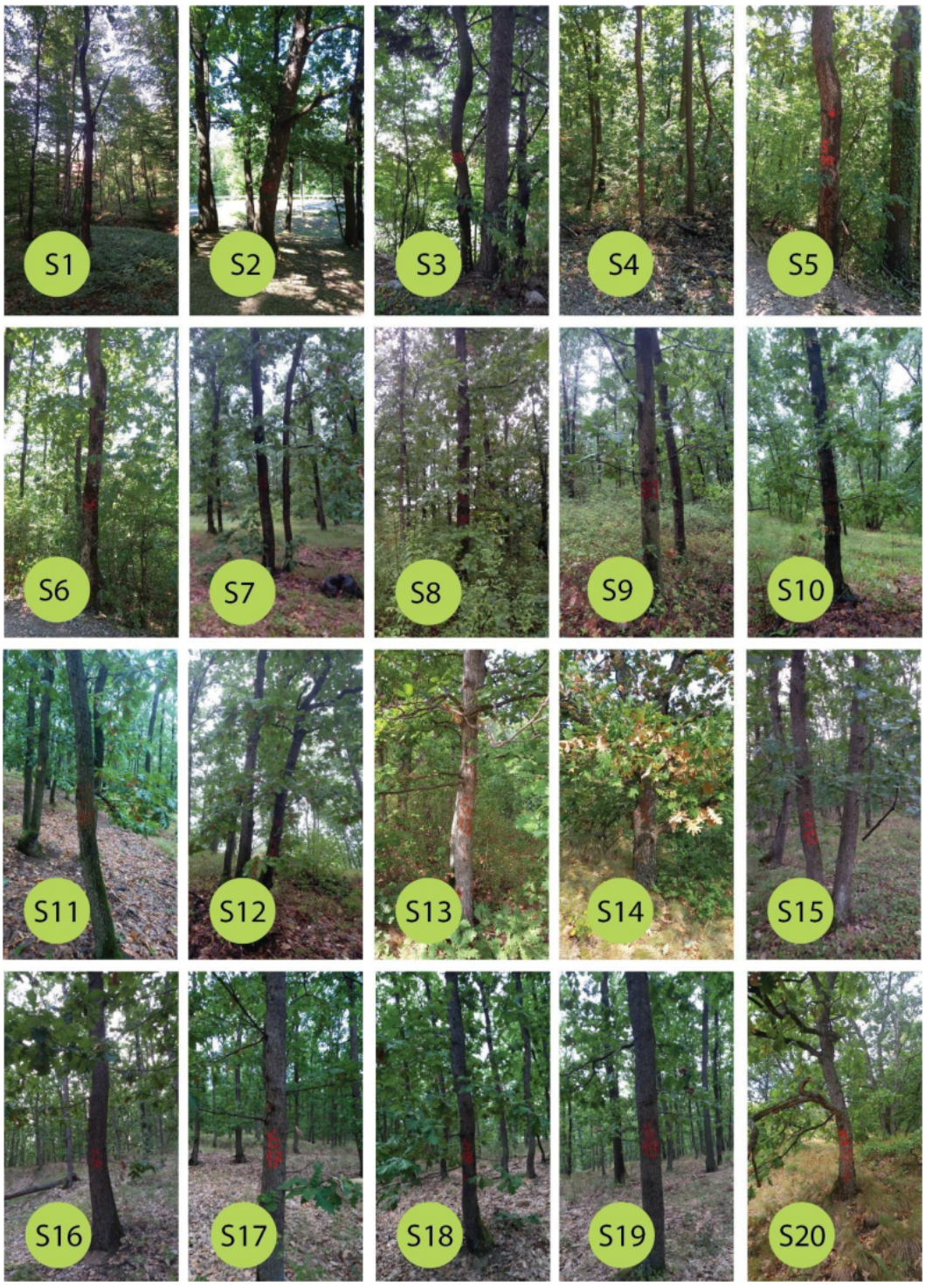
Prilog 17. *nastavak*



Prilog 17. *nastavak*



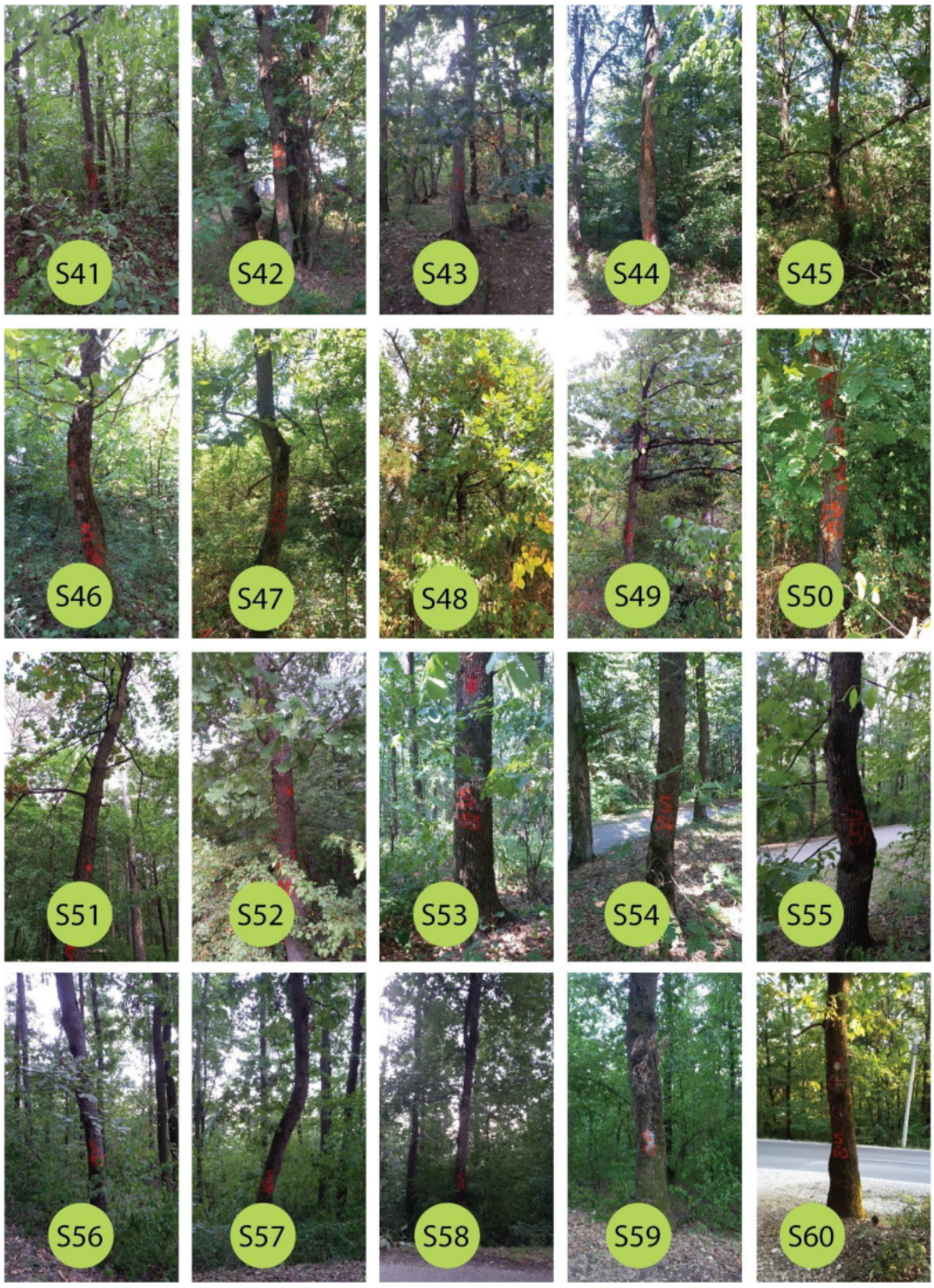
Prilog 18. Foto-tablica selekcionisanih individua sladuna



Prilog 18. *nastavak*



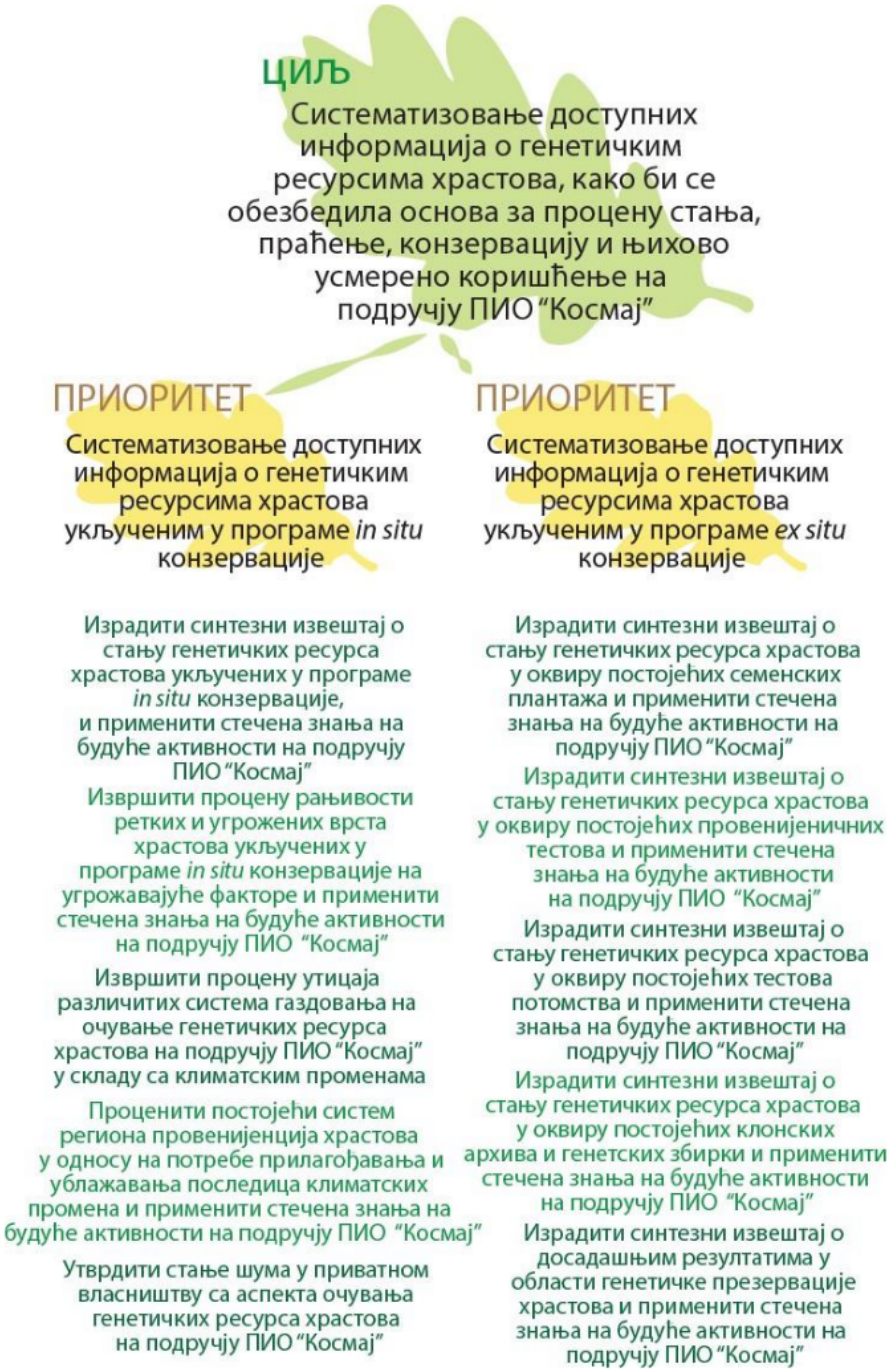
Prilog 18. *nastavak*



Prilog 18. *nastavak*



Prilog 19. Ciljevi, prioriteti i mere u istraživanju i edukaciji u oblastikonzervacije genetičkih resursa hrastova na području PIO „Kosmaj”



Prilog 19. *nastavak*



ПРИОРИТЕТ

Утврђивање истраживачких приоритета у области *in situ* конзервације генетичких ресурса храстова

- Израдити дугорочни програм истраживања утицаја угрожавајућих фактора на генетичке ресурсе храстова на подручју ПИО "Космај"
- Израдити дугорочни програм истраживања адаптабилности врста храстова на промене услова средине на подручју ПИО "Космај"
- Израдити дугорочни програм истраживања утицаја различитих система газдовања на подручју ПИО "Космај" на очување генетичких ресурса храстова
- Развити смернице за укључивање приоритетних врста у интензивне програме истраживања утицаја климатских промена на генетичке ресурсе храстова са подручја ПИО "Космај"
- Развити смернице за истраживање могућности примене климатских сценарија и модела за потребе процене рањивости генетичких ресурса храстова са подручја ПИО "Космај" и њиховог потенцијала за складиштење угљеника

ПРИОРИТЕТ

Утврђивање истраживачких приоритета у области *ex situ* конзервације генетичких ресурса храстова

- Развити смернице за утврђивање листе приоритета врста храстова са подручја ПИО "Космај" и њихових особина за укључивање у интензивне програме *ex situ* конзервације и оплемењивања
- Израдити дугорочни програм истраживања у оквиру семенских плантажа на основу синтезног извештаја о стању генетичких ресурса храстова са подручја ПИО "Космај"
- Израдити дугорочни програм истраживања у оквиру провенијеничних тестова на основу синтезног извештаја о стању генетичких ресурса храстова са подручја ПИО "Космај"
- Израдити дугорочни програм истраживања у оквиру тестова потомстава на основу синтезног извештаја о стању генетичких ресурса храстова са подручја ПИО "Космај"
- Израдити дугорочни програм истраживања у оквиру клонских архива и генетских збирки на основу синтезног извештаја о стању генетичких ресурса храстова са подручја ПИО "Космај"
- Израдити дугорочни програм истраживања у области генетичке презервације храстова са подручја ПИО "Космај" на основу синтезног извештаја о досадашњим резултатима

Prilog 19. *nastavak*



Prilog 20. Ciljevi, prioriteti i mere u oblasti strateških, zakonskih i programskihokvira konzervacije genetičkih resursa hrastova sa područja PIO „Kosmaj”



Prilog 20. *nastavak*



Prilog 20. *nastavak*



Prilog 21. Ciljevi, prioriteti i mere u oblasti međunarodne i međusektorske saradnjeu konzervaciji genetičkih resursa hrastova na području PIO „Kosmaj”



Prilog 21. *nastavak*



Prilog 22. Ciljevi, prioriteti i mere u oblasti jačanja kapaciteta i širenjainformacija u konzervaciji genetičkih resursa hrastova na području PIO „Kosmaj”



Prilog 22. *nastavak*



Prilog 23. Ciljevi, prioriteti i mere u oblasti konzervacije genetičkih resursahrastova u skladu sa Nacionalnim programom konzervacije šumskih genetičkih resursa



Prilog 23. *nastavak*



Prilog 23. *nastavak*



Karakterizacija ekološkog i konzervacionog statusa hrastova (Quercus L.) na području Predela izuzetnih odlika "Kosmaj"

ORIGINALITY REPORT

9%
SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	fedorabg.bg.ac.rs Internet	500 words — 1%
2	nardus.mpn.gov.rs Internet	333 words — 1%
3	www.forest.org.rs Internet	249 words — 1%
4	www.slglasnik.info Internet	154 words — < 1%
5	www.pmf.ni.ac.rs Internet	113 words — < 1%
6	ibiss-r.rcub.bg.ac.rs Internet	108 words — < 1%
7	0353-4537, 2004 Publications	100 words — < 1%
8	vbs.rs Internet	98 words — < 1%
9	hdl.handle.net Internet	95 words — < 1%

10	eteze.bg.ac.rs Internet	76 words — < 1%
11	upravazasume.gov.rs Internet	64 words — < 1%
12	core.ac.uk Internet	60 words — < 1%
13	klima101.rs Internet	59 words — < 1%
14	www.readbag.com Internet	53 words — < 1%
15	scindeks.ceon.rs Internet	50 words — < 1%
16	www.researchgate.net Internet	49 words — < 1%
17	Lecture Notes in Earth Sciences, 2010. Crossref	45 words — < 1%
18	Priscila Marlys Sá Rivas. "Efeito do aquecimento atmosférico e elevação de CO>sub<2>/sub< sobre parâmetros genéticos e biológicos da espécie forrageira tropical >i<Stylosanthes capitata>/i< (Vogel)", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 2020 Crossref Posted Content	45 words — < 1%
19	www.cris.uns.ac.rs Internet	41 words — < 1%
20	docplayer.net Internet	38 words — < 1%

21	doczz.net Internet	36 words — < 1%
22	scindeks-clanci.ceon.rs Internet	36 words — < 1%
23	dc.etsu.edu Internet	35 words — < 1%
24	www.biorxiv.org Internet	35 words — < 1%
25	Natalia P. Maslova, Eugeny V. Karasev, Sheng-Lan Xu, Robert A. Spicer et al. " Variations in morphological and epidermal features of shade and sun leaves of two species: and . ", American Journal of Botany, 2021 Crossref	32 words — < 1%
26	link.springer.com Internet	32 words — < 1%
27	repozitorij.unizg.hr Internet	32 words — < 1%
28	0353-4537, 2008 Publications	31 words — < 1%
29	doku.pub Internet	31 words — < 1%
30	biodiverzitet-chm.rs Internet	30 words — < 1%
31	repozitorij.sumfak.unizg.hr Internet	30 words — < 1%

32	0353-4537, 2003 Publications	27 words — < 1%
33	phaidrabg.bg.ac.rs Internet	27 words — < 1%
34	www.srbijasume.co.yu Internet	25 words — < 1%
35	0350-1752, 2006 Publications	24 words — < 1%
36	Ecaterina Nicoleta Apostol, Alexandru Lucian Curtu, Liviu Mihai Daia, Bogdan Apostol et al. "Leaf morphological variability and intraspecific taxonomic units for pedunculate oak and grayish oak (genus Quercus L., series Pedunculatae Schwz.) in Southern Carpathian Region (Romania)", Science of The Total Environment, 2017 Crossref	24 words — < 1%
37	www.grafiati.com Internet	24 words — < 1%
38	www.singipedia.singidunum.ac.rs Internet	24 words — < 1%
39	Dimitrija Savić-Zdravković, Djuradj Milošević, Jelena Conić, Katarina Marković et al. "Revealing the effects of cerium dioxide nanoparticles through the analysis of morphological changes in Chironomus riparius", Science of The Total Environment, 2021 Crossref	21 words — < 1%
40	centarmozaik.rs Internet	21 words — < 1%
	nph.onlinelibrary.wiley.com	

41	Internet	20 words — < 1%
42	sh.wikipedia.org Internet	20 words — < 1%
43	uvidok.rcub.bg.ac.rs Internet	20 words — < 1%
44	ori-oai.u-bordeaux1.fr Internet	18 words — < 1%
45	repozitorij.unios.hr Internet	18 words — < 1%
46	stud.epsilon.slu.se Internet	18 words — < 1%
47	www.srpskosumarskoudruzenje.org.rs Internet	17 words — < 1%
48	"Biodiversity and Conservation of Woody Plants", Springer Science and Business Media LLC, 2017 Crossref	16 words — < 1%
49	istocar.bg.ac.rs Internet	16 words — < 1%
50	otvorenavlada.rs Internet	16 words — < 1%
51	repozitorij.pmf.unizg.hr Internet	16 words — < 1%
52	www.paragraf.rs Internet	16 words — < 1%

53	0353-4537, 2007 Publications	15 words — < 1%
54	docplayer.fr Internet	15 words — < 1%
55	0350-1752, 2003 Publications	14 words — < 1%
56	Samuel, R., W. Pinsker, and F. Ehrendorfer. "Electrophoretic Analysis of Genetic Variation within and between Populations of Quercus cerris, Q. pubescens, Q. petraea and Q. robur (Fagaceae) from Eastern Austria", Botanica Acta, 1995. Crossref	13 words — < 1%
57	Snežana Stajić, Vlado Čokeša, Ljubinko Rakonjac, Zoran Miletić et al. "Comparison of floristic composition of submontane beech forest and artificial established stands of Norway spruce on Mt. Kosmaj", Sustainable Forestry: Collection, 2022 Crossref	13 words — < 1%
58	www.tandfonline.com Internet	13 words — < 1%
59	www.vesti.rs Internet	13 words — < 1%
60	www.vodoprivreda.net Internet	13 words — < 1%
61	"Current Problems in Experimental and Computational Engineering", Springer Science and Business Media LLC, 2022 Crossref	12 words — < 1%

62	"Forests of Southeast Europe Under a Changing Climate", Springer Science and Business Media LLC, 2019 Crossref	12 words — < 1%
63	agrosym.ues.rs.ba Internet	12 words — < 1%
64	www.ekoforum.org.yu Internet	12 words — < 1%
65	www.udekom.org.rs Internet	12 words — < 1%
66	Miao An, Min Deng, Si-Si Zheng, Xiao-Long Jiang, Yi-Gang Song. "Introgression Threatens the Genetic Diversity of Quercus austrocochinchinensis (Fagaceae), an Endangered Oak: A Case Inferred by Molecular Markers", Frontiers in Plant Science, 2017 Crossref	11 words — < 1%
67	0350-1752, 2005 Publications	10 words — < 1%
68	ro.ecu.edu.au Internet	10 words — < 1%
69	singipedia.singidunum.ac.rs Internet	10 words — < 1%
70	sr.wikipedia.org Internet	10 words — < 1%
71	usir.salford.ac.uk Internet	10 words — < 1%
72	www.hindawi.com	

	Internet	10 words — < 1%
73	www.igi-global.com Internet	10 words — < 1%
74	www.ncbi.nlm.nih.gov Internet	10 words — < 1%
75	www.rfmc.mk Internet	10 words — < 1%
76	www.seefor.eu Internet	10 words — < 1%
77	www.vliz.be Internet	10 words — < 1%
78	P. Fortini, V. Viscosi, L. Maiuro, S. Fineschi, G. G. Vendramin. " Comparative leaf surface morphology and molecular data of five oaks of the subgenus Oerst (Fagaceae) ", Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 2009 Crossref	9 words — < 1%
79	cris.uns.ac.rs Internet	9 words — < 1%
80	dirros.openscience.si Internet	9 words — < 1%
81	era.ed.ac.uk Internet	9 words — < 1%
82	eteze.ni.ac.rs Internet	9 words — < 1%

83	forest-genetic-resources-training-guide.bioversityinternational.org Internet	9 words — < 1%
84	hal.inrae.fr Internet	9 words — < 1%
85	sumlist.sumari.hr Internet	9 words — < 1%
86	www.icty.org Internet	9 words — < 1%
87	www.serbiosoc.org.rs Internet	9 words — < 1%
88	ypef.eu Internet	9 words — < 1%
89	Ivona Kerkez Janković, Marina Nonić, Jovana Devetaković, Vladan Ivetić, Mirjana Šijačić-Nikolić, Jelena M. Aleksić. " Technical overview of nuclear microsatellites for sp., and their utility in from the central Balkans (Serbia) ", Scandinavian Journal of Forest Research, 2019 Crossref	8 words — < 1%
90	Mirjana Sijacic-Nikolic, Ljiljana Sovilj. "Implementation of the program for conservation and sustainable utilization of forest genetic resources in Republic of Serbia", Selekcija i semenarstvo, 2017 Crossref	8 words — < 1%
91	Vid Rađević, Predrag Pap, Verica Vasić. "Management of the common oak forests in Ravni Srem: Yesterday, today, tomorrow", Topola, 2020 Crossref	8 words — < 1%

92	agrores.net Internet	8 words — < 1%
93	hal.archives-ouvertes.fr Internet	8 words — < 1%
94	qmro.qmul.ac.uk Internet	8 words — < 1%
95	real-j.mtak.hu Internet	8 words — < 1%
96	scidar.kg.ac.rs Internet	8 words — < 1%
97	serbianoutdoor.com Internet	8 words — < 1%
98	www.amjbot.org Internet	8 words — < 1%
99	www.eko.vojvodina.sr.gov.yu Internet	8 words — < 1%
100	www.mdpi.com Internet	8 words — < 1%
101	www.przeglad.wsb.net.pl Internet	8 words — < 1%
102	"Zero Hunger", Springer Science and Business Media LLC, 2020 Crossref	7 words — < 1%
103	Alexander Buchan. "Meteorological Observations at the Ben Nevis Observatory and at the Low Level	7 words — < 1%

Station at Fort-William", Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 2012
Crossref

104 Climate Change Impacts on High-Altitude Ecosystems, 2015. — 7 words — < 1%
Crossref

105 Sustainable Development and Biodiversity, 2014. — 7 words — < 1%
Crossref

106 Vladan Popovic, Aleksandar Lucic, Ljubinko Rakonjac. "State of the forest genetic resources in Serbia and the overview of the activities for their conservation", Selekcija i semenarstvo, 2017 — 7 words — < 1%
Crossref

107 Vladan Popović, Aleksandar Lučić, Sanja Jovanović, Ljubinko Rakonjac. "Variability of characteristics of Sessile oak (Quercus petraea (Matt.) Liebl) seedlings from the Area of Outstanding Natural Landscape "Avala"", Sustainable Forestry: Collection, 2022 — 7 words — < 1%
Crossref

108 0350-1752, 2004 — 6 words — < 1%
Publications

109 Dragana Božić. "Amaranthus retroflexus L.: Redroot pigweed", Acta herbologica, 2018 — 6 words — < 1%
Crossref

110 Marco Cosimo Simeone, Guido W Grimm, Alessio Papini, Federico Vessella et al. " Plastome data reveal multiple geographic origins of Group Ilex ", PeerJ, 2015 — 6 words — < 1%
Crossref Posted Content

111 qdoc.tips — 6 words — < 1%
Internet

112 Maddalena Carabeo, Marco Cosimo Simeone, Marcello Cherubini, Chiara Mattia et al. " Estimating the genetic diversity and structure of Webb populations in Italy by SSRs: implications for management and conservation ", Canadian Journal of Forest Research, 2017

4 words — < 1%

Crossref

EXCLUDE QUOTES	ON	EXCLUDE SOURCES	OFF
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY	ON	EXCLUDE MATCHES	OFF