

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУМУМ
БЕОГРАД
ДЕПАРТМАН ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

**Карактеризација еколошког и конзервационог статуса
храстова (*Quercus L.*) на подручју Предела изузетних
одлика „Космај”**

Ментор:

Проф. др Јелена Миловановић

Студент: Марија Јовановић

Број индекса: 485026/2020

Београд, 2023. год.

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

Ментор: Проф. др Јелена Миловановић,
редовни професор Универзитета Сингидунум у Београду

Чланови комисије: Проф. др Гордана Дражић,
редовни професор Универзитета Сингидунум у Београду

Проф. др Сузана Ђорђевић-Милошевић,
ванредни професор Универзитета Сингидунум у Београду

Проф. др Марина Нонић, **коментор**
ванредни професор Шумарског факултета
Универзитета у Београду

Проф. др Мирјана Шијачић-Николић,
редовни професор Шумарског факултета
Универзитета у Београду

Датум одбране: _____

Захвалница

Захваљујем се свом ментору, проф. др Јелени Миловановић, редовном професору Универзитета Сингидунум, на указаном поверењу, стрпљењу, саветима и несебичној помоћи током израде ове докторске дисертације.

Велику захвалност дугујем и проф. др Мирјани Шијачић-Николић, редовном професору Шумарског факултета Универзитета у Београду, на подршци, саветима и указаном поверењу. Посебно сам захвална проф. др Шијачић-Николић јер ми је, као руководилац, омогућила истраживања у оквиру пројекта под називом «Идентификовање, праћење и конзервација генофонда ендемичних, ретких и угрожених дрвенастих врста на подручју ПИО „Космај”» (Уговор број V-01 4011-119), финансираног од стране Градске управе града Београда – Секретаријата за заштиту животне средине и реализованог од стране Шумарског факултета Универзитета у Београду.

Веома сам захвална коментору, проф. др Марини Нонић, ванредном професору Шумарског факултета Универзитета у Београду, на инспирацији, подршци и несебичној помоћи.

Захвалност дугујем и др Јелени М. Алексић, научном саветнику на Институту за молекуларну генетику и генетичко инжењерство Универзитета у Београду, мастер инж. Ивони Керкез Јанковић, истраживачу сараднику на Шумарском факултету Универзитета у Београду, као и колегиници дипл. инж. Вели Јанков, чије је ангажовање значајно унапредило ову докторску дисертацију.

Захваљујем се свим пријатељима и колегама који су ме подржали у намери да своје истраживање доведем до краја.

Највећу захвалност дугујем својој породици, без чије подршке ова дисертација не би угледала светлост дана.

Аутор

Сажетак

Варијабилност врста може се посматрати као комплекс двеју категорија – адаптивне варијабилности, која је под утицајем фактора средине и неутралне варијабилности, која не подлеже утицају средине. Предмет истраживања ове докторске дисертације су четири врсте храста (*Quercus* L.) на подручју Предела изузетних одлика „Космај” (ПИО „Космај”), чија је адаптивна варијабилност анализирана применом метода геометријске морфометрије на листу, а неутрална варијабилност применом молекуларних маркера. Циљ истраживања ове докторске дисертације је карактеризација еколошког и конзервационог статуса четири врсте храста (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. – китњак, *Q. pubescens* Willd. – медунац, *Q. frainetto* Ten. – сладун, *Q. cerris* L. – цер) на подручју ПИО „Космај” и дефинисање конкретних мера конзервације, као и еколошких и конзервационих принципа газдовања њиховим популацијама. Током 2022. године, 247 индивидуа четири различите врсте храста је селекционисано на подручју ПИО „Космај”. Процена адаптивне варијабилности извршена је анализом листова изабраних врста храстова методама геометријске морфометрије – анализом специфичних тачака и морфолошким анализом величине и облика (MASS). Такође, ради повезивања морфометријских карактеристика листа и услова станишта, коришћен је дигитални модел терена. Анализа неутралне варијабилности храстова са подручја ПИО „Космај” укључивала је селекцију индивидуа четири врсте храста, сакупљање и припрему биљног материјала, као и избор 14 микросателита и њихову даљу анализу. Резултати ове докторске дисертације потврдили су главну хипотезу да је степен унутар- и међуврсне генетичке варијабилности храстова на подручју ПИО „Космај” резултат утицаја генотипа, локалних услова станишта, стања животне средине, начина газдовања популацијама и историјских процеса кроз које су истраживане популације прошле. Резултати су показали да је адаптивна варијабилност храстова на подручју ПИО „Космај” повезана са карактеристикама станишта, стањем животне средине и начинима газдовања популацијама храстова, да постоји усклађеност резултата добијених применом адаптивних и неутралних генетичких маркера, као и усклађеност добијених резултата са раније публикованим подацима о генетичкој варијабилности храстова. Резултати анализе адаптивне генетичке варијабилности показали су висок степен морфолошке варијабилности листа храстова са подручја ПИО „Космај” и повезали варијабилност са условима станишта добијеним помоћу дигиталног модела терена, што представља изузетну прилику за опсервацију везе морфологије и животне средине, која се може користити у сврху конзервације шумских генетичких ресурса. Резултати анализе неутралне варијабилности показали су да се на подручју ПИО „Космај” четири анализираних врсте храстова одликују високим нивоима генетичког диверзитета, који је предуслов за њихово преживљавање, посебно у погледу све израженијих климатских промена. Такође, истраживања на подручју ПИО „Космај” пружила су увид у састав врста храстова у овој области, као и у опште стање њихових популација. На основу негативних утицаја који делују на подручју ПИО „Космај”, може се закључити да су примарни фактори који неповољно делују на генофонд дрвенастих врста деградација станишта, уништавање шума и њихова фрагментација. Уништавање станишта, у комбинацији са другим негативним факторима, има за последицу губитак одређеног генофонда, односно његову ерозију. Када се узме у обзир већински изданачко порекло шума на Космају, које се тешко прилагођавају наглим променама животне средине, очување генофонда дрвенастих врста се намеће као једна од приоритетних

активности коју треба спровести у што скоријој будућности. На основу дефинисаних десет приоритета за конзервацију генетичких ресурса истраживаних врста храстова, уочљиво је да газдовање шумама на подручју ПИО „Космај”, у сврху побољшања продукције и унапређења заштите, мора бити комбиновано са добрим планирањем и координацијом активности на националном, локалном и регионалном нивоу. Поред тога, важан циљ је одређивање приоритетних врста, популација и подручја за очување генетичких ресурса храстова у виду *ex situ* и *in situ* конзервације, у оквиру кохерентног програма и у складу са националним политикама и биолошким могућностима сваке врсте.

Кључне речи: храстови, варијабилност, конзервација генофонда, заштићено подручје, еколошки принципи управљања

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 the 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 analyzed 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 their 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

САДРЖАЈ

Списак скраћеница

Списак табела

Списак слика

1. УВОД	1
1.1. ТАКСОНОМСКА ПРИПАДНОСТ И РАСПРОСТРАЊЕНОСТ РОДА <i>QUERCUS</i> L.	4
1.1.1. Распрострањеност храстова у Европи	7
1.1.2. Распрострањеност храстова у Србији	8
1.2. ОСНОВНЕ ОДЛИКЕ ИСТРАЖИВАНИХ ВРСТА	10
1.2.1. Цер (<i>Quercus cerris</i> L.)	10
1.2.2. Сладун (<i>Quercus frainetto</i> Ten.)	13
1.2.3. Китњак (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.)	16
1.2.4. Медунац (<i>Quercus pubescens</i> Willd.)	20
1.3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ГЕНЕТИЧКЕ ВАРИЈАБИЛНОСТИ ХРАСТОВА (<i>QUERCUS</i> L.) ПРИМЕНОМ АДАПТИВНИХ И НЕУТРАЛНИХ МАРКЕРА	24
1.3.1. Адаптивна (морфолошка) варијабилност храстова	24
1.3.2. Неутрална (молекуларна) варијабилност храстова	25
2. ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА	28
3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА	30
3.1. ОПИС ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА	30
3.1.1. Релјеф	30
3.1.2. Геолошка подлога	30
3.1.3. Педолошка подлога	31
3.1.4. Хидрологија	32
3.1.5. Клима	32
3.1.6. Флора и вегетација	32
3.1.6.1. Заједница сладуна и цера (<i>Quercetum frainetto-cerridis</i> Rudski 1949.)	35
3.1.6.2. Заједница цера са црним јасеном (<i>Fraxino orni-Quercetum cerridis</i> Stefanović 1968.)	35
3.1.6.3. Заједница китњака и цера (<i>Quercetum petraeae-cerridis</i> B. Jovanović 1979. s.l.)	35
3.1.6.4. Заједница китњака и граба (<i>Quercus petraeae-Carpinetum betuli</i> Rudski 1949. s.l.)	36
3.1.6.5. Заједница брдске букве (<i>Helleboro odori-Fagetum moesiacaе</i> Soo & Borhidi 1960)	36
3.1.6.6. Мешовите заједнице букве и китњака (<i>Quercus petraeae-Fagetum moesiacaе</i> Glišić 1971.)	36
3.1.6.7. Вештачки подигнуте састојине	37
3.1.7. Фауна	38
3.1.8. Стање животне средине и статус заштите	38
3.2. АНАЛИЗА ГЕНЕТИЧКЕ ВАРИЈАБИЛНОСТИ	42
3.2.1. Анализа адаптивне варијабилности	43
3.2.1.1. Прикупљање материјала	43
3.2.1.2. Статистичке анализе	45
3.2.2. Анализа неутралне варијабилности	51
3.2.2.1. Узорковање	52
3.2.2.2. Лабораторијске анализе	52
3.2.2.3. Статистичке анализе	55

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	57
4.1. АДАПТИВНА ВАРИЈАБИЛНОСТ	57
4.1.1. Унутарврсна варијабилност	57
4.1.1.1. <i>Цер</i>	57
4.1.1.2. <i>Китњак</i>	62
4.1.1.3. <i>Медунац</i>	68
4.1.1.4. <i>Сладун</i>	74
4.1.2. Међуврсна варијабилност	80
4.1.3. Веза морфологије листа и услова станишта	85
4.1.3.1. <i>Надморска висина</i>	85
4.1.3.2. <i>Нагиб терена</i>	91
4.1.3.3. <i>Експозиција</i>	97
4.2. НЕУТРАЛНА ВАРИЈАБИЛНОСТ	102
4.2.1. Генетички диверзитет	102
4.2.2. Генетичка диференцијација	105
4.2.3. Генетичка структура	107
4.3. ФАКТОРИ УГРОЖАВАЊА ШУМСКИХ ГЕНЕТИЧКИХ РЕСУРСА НА ПОДРУЧЈУ ПИО „КОСМАЈ”	111
4.4. ЦИЉЕВИ, ПРИОРИТЕТИ И МЕРЕ ОЧУВАЊА ГЕНЕТИЧКИХ РЕСУРСА ХРАСТОВА НА ПОДРУЧЈУ ПИО „КОСМАЈ”	117
5. ДИСКУСИЈА	123
6. ЗАКЉУЧЦИ	128
7. ЛИТЕРАТУРА	135
8. ПРИЛОЗИ	153

Списак скраћеница

95% CI	95% интервал поверења, <i>95% Confidence Interval</i>
A	број алела, <i>Number of Alleles</i>
A_e	ефективни број алела, <i>Effective Number of Alleles</i>
AFLP	полиморфизам дужине амплифицираних фрагмената, <i>Amplified Fragment Length Polymorphism</i>
ANOVA	анализа варијансе, <i>Analysis of Variance</i>
Ar₉₈	богатство алела по методи рарификације за 98 копија гена, <i>Allelic Richness According to the Rarefaction Method for 98 Gene Copies</i>
bp	базни парови, <i>Base Pairs</i>
CDA	канонијска дискриминантна анализа, <i>Canonical Discriminant Analysis</i>
C1-C60	селекционисане индивидуе цера (1-60)
CS	величина центроида, <i>Centroid Size</i>
E	исток, <i>East</i>
Експ.	категорија експозиције
EFA	елиптична Фуријеова анализа, <i>Elliptic Fourier Analysis</i>
EFDs	елиптични Фуријеови дескриптори, <i>Elliptic Fourier Descriptors</i>
EUFORGEN	Европски програм шумских генетичких ресурса, <i>European Forest Genetic Resources Programme</i>
F	кофицијент инбридинга, <i>Coefficient of Inbreeding</i>
FA	флукуирајућа асиметрија, <i>Fluctuating Asymmetry</i>
F_{ST}	параметар генетичке диференцијације, <i>Measure of Population Differentiation</i>
GPA	генерализована Прокрстова анализа, <i>Generalized Procrustes Analysis</i>
H_E	очекивана хетерозиготност, <i>Expected Heterozygosity</i>
HIPPO	акроним: губитак станишта (<i>Habitat alteration</i>), инвазивне врсте (<i>Invasive species</i>), загађење (<i>Pollution</i>), раст људске популације (<i>Population growth</i>), прекомерна експлоатација (<i>Overexploitation</i>)
H_o	добијена хетерозиготност, <i>Observed Heterozygosity</i>
IUCN	Међународна унија за заштиту природе, <i>International Union for Conservation of Nature</i>
ИГД	источна географска дужина

K	број генетичких група
K1-K60	селекционисане индивидуе китњака (1-60)
LC	последња брига, <i>Least Concern</i>
M1-M65	селекционисане индивидуе медунца (1-65)
MANOVA	мултиваријантна анализа варијансе, <i>Multivariate Analysis of Variance</i>
MAS	маркер асистирана селекција
MASS	морфолошка анализа величине и облика, <i>Morphological Analysis of Size and Shape</i>
MBPS	<i>Multiple Population Breeding System</i>
MCMC	Монте Карло Марков Ланац, <i>Markov Chain Monte Carlo</i>
MCPFE	Министарска конференција о заштити шума у Европи, <i>Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe</i>
N	север, <i>North</i>
N.	величина популације
Na	просечан број алела по локусу, <i>Average Number of Alleles per Locus</i>
НВ	надморска висина
НТ	нагиба терена
nSSRs	нукеларни миросателитни маркери, <i>Nuclear Simple Sequence Repeats</i>
NASA	Национална ваздухопловна и свемирска администрација, <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
Ne	ефективна величина популације, <i>Effective Population Size</i>
NE	североисток, <i>Northeast</i>
Nm	протока гена, <i>Gene Flow</i>
NW	северозапад, <i>Northwest</i>
PA	број приватних алела, <i>Number of Private Alleles</i>
PBA	Одабрано подручје за дневне лептире, <i>Prime Butterfly Areas</i>
PC	главна компонента, <i>Principal Component</i>
PCA	анализа главних компоненти, <i>Principal Component Analysis</i>
PCoA	анализа главних координата, <i>Principal Coordinate Analysis</i>
PCR	ланчана реакција полимеразе, <i>Polymerase Chain Reaction</i>
ПНО	предео изузетних одлика
ПИК	<i>Polymorphism Information Content</i>

RAPD	насумична амплификација полиморфне ДНК, <i>Random Amplified Polymorphic DNA</i>
S	југ, <i>South</i>
S1-S62	селекционисане индивидуе сладуна (1-62)
SE	југоисток, <i>Southeast</i>
S.E.	стандардна грешка, <i>Standard Error</i>
SW	југозапад, <i>Southwest</i>
СГШ	северна географска ширина
TBE	<i>Tris-Borate-EDTA</i> пуфер
TPS	бесконечно идеално танка метална плоча, <i>Thin Plate Spline</i>
УВ	ултраљубичаста светлост, <i>Ultraviolet Light</i>
W	запад, <i>West</i>

Списак табела

Табела 1. Стање шума цера, сладуна, китњака и медунца на територији Републике Србије (према Banković et al., 2008)

Табела 2. Нуклеарни микросателити коришћени за процену неутралне варијабилности храстова

Табела 3. Дескриптивни статистички показатељи основних параметара листа цера

Табела 4. Корелације између параметара листа цера

Табела 5. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа цера са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом

Табела 6. Дескриптивни статистички показатељи основних параметара листа китњака

Табела 7. Корелације између параметара листа китњака

Табела 8. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа китњака са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом

Табела 9. Дескриптивни статистички показатељи основних параметара листа медунца

Табела 10. Корелације између параметара листа медунца

Табела 11. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа медунца са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом

Табела 12. Дескриптивни статистички показатељи основних параметара листа сладуна

Табела 13. Корелације између параметара листа сладуна

Табела 14. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа сладуна са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом

Табела 15. Корелације између параметара листа свих врста храстова

Табела 16. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа са врстом као групишућом променљивом

Табела 17. Вредности корелација надморске висине и параметара добијених MASS анализом са приказом статистичке значајности (p). Статистички значајне корелације представљене су црвеном бојом

Табела 18. Вредности корелација нагиба терена (%) и параметара добијених MASS анализом са приказом статистичке значајности (p). Статистички значајне корелације представљене су црвеном бојом

Табела 19. Вредности Махаланобисових дистанци између парова група експозиције (горња половина матрице) и статистичка значајност разлика међу њима (p вредност, доња половина матрице). Статистички значајно различите дистанце ($p < 0,05$) означене су искошеним бројевима

Табела 20. Корелационе матрице (колор мапе) за категорије експозиције. Доње половине матрица представљају Пирсонове коефицијенте корелације, а горње половине статистички значајне разлике међу паровима (p вредности)

Табела 21. Вредности параметара генетичког диверзитета код китњака

Табела 22. Вредности параметара генетичког диверзитета код медунца

Табела 23. Вредности параметара генетичког диверзитета код сладуна

Табела 24. Вредности параметара генетичког диверзитета код цера

Табела 25. Стандардни параметри генетичког диверзитета испитиваних популација четири врсте храстова

Табела 26. Вредности F_{ST} и N_m параметара између парова популација китњака, медунца и сладуна

Списак слика

Слика 1. Географска распрострањеност осам секција рода *Quercus* L. (модификована према Denk et al., 2017)

Слика 2. Лист и плод цера

Слика 3. Област распрострањености и поједностављена хоролошка мапа цера (модификована према de Rigo et al., 2016)

Слика 4. Лист и плод сладуна

Слика 5. Област распрострањености и поједностављена хоролошка мапа сладуна (модификована према Mauri et al., 2016)

Слика 6. Лист и плод китњака

Слика 7. Област распрострањености и поједностављена хоролошка мапа китњака (модификована према Eaton et al., 2016)

Слика 8. Лист и плод медунца

Слика 9. Област распрострањености и поједностављена хоролошка мапа медунца (модификована према Pasta et al., 2016)

Слика 10. Карта вегетације Космаја (модификована према Sredojev et al. 2011)

Слика 11. Карта заштићеног природног добра „Космај” (модификована према Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020)

Слика 12. Приказ истраживања спроведених у оквиру докторске дисертације

Слика 13. Просторни распоред селекционисаних индивидуа анализираних аутохтоних храстова (цер – *Quercus cerris*, сладун – *Quercus frainetto*, китњак – *Quercus petraea*, медунац – *Quercus pubescens*), са приказом граница II и III зоне заштите на подручју ПИО „Космај”

Слика 14. Конфигурација 13 специфичних тачака на листу храста

Слика 15. Основни кораци анализе неутралне варијабилности

Слика 16. Дендрограм селекционисаних индивидуа цера добијен анализом гроздовања на основу параметара листа

Слика 17. Просечне контуре листа селекционисаних индивидуа цера добијене елиптичном Фуријеовом анализом

Слика 18. Ординација селекционисаних индивидуа цера дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 19. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика листа цера (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 20. Дендрограм селекционисаних индивидуа китњака добијен анализом гроздовања на основу параметара листа

Слика 21. Просечне контуре листа селекционисаних индивидуа китњака добијене елиптичном Фуријеовом анализом

Слика 22. Ординација селекционисаних индивидуа китњака дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 23. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика листа китњака (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 24. Дендрограм селекционисаних индивидуа медунца добијен анализом гроздовања на основу параметара листа

Слика 25. Просечне контуре листа селекционисаних индивидуа медунца добијене елиптичном Фуријеовом анализом

Слика 26. Ординација селекционисаних индивидуа медунца дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 27. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика листа медунца (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 28. Дендрограм селекционисаних индивидуа сладуна добијен анализом гроздовања на основу параметара листа

Слика 29. Просечне контуре листа селекционисаних индивидуа сладуна добијене елиптичном Фуријеовом анализом

Слика 30. Ординација селекционисаних индивидуа сладуна дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 31. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика листа сладуна (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 32. Средња вредност, стандардна грешка и 95% интервал поверења за а) дужину, б) ширину, с) површину и д) однос дужина/ширина код цера, китњака, медунаца и сладуна

Слика 33. Средња вредност, стандардна грешка и 95% интервал поверења за а) флукутирајућу асиметрију, б) заобљеност, с) циркуларност и д) солидност код цера, китњака, медунаца и сладуна

Слика 34. Ординација селекционисаних индивидуа четири врсте храста дуж прве (РС-1) и друге (РС-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 35. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика међу врстама (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Слика 36. Вредности надморске висине на подручју ПИО „Космај” добијене преко дигиталног модела терена

Слика 37. Средња вредност, стандардна грешка и 95% интервал поверења вредности надморске висине за цер, китњак, медунац и сладун

Слика 38. Графички приказ корелације надморске висине и дужине листа код цера, китњака, медунаца и сладуна

Слика 39. Графички приказ корелације надморске висине и ширине листа код цера, китњака, медунаца и сладуна

Слика 40. Графички приказ корелације надморске висине и површине листа код цера, китњака, медунаца и сладуна

Слика 41. Графички приказ корелације надморске висине и циркуларности листа код цера, китњака, медунаца и сладуна

Слика 42. Графички приказ корелације надморске висине и заобљености листа код цера, китњака, медунаца и сладуна

Слика 43. Графички приказ корелације надморске висине и солидности листа код цера, китњака, медунаца и сладуна

Слика 44. Вредности нагиба терена (%) на подручју ПИО „Космај” добијене преко дигиталног модела терена

Слика 45. Средња вредност, стандардна грешка и 95% интервал поверења вредности нагиба терена (%) за цер, китњак, медунац и сладун

Слика 46. Графички приказ корелације нагиба терена и флукутирајуће асиметрије код цера, китњака, медунца и сладуна

Слика 47. Графички приказ корелације нагиба терена и заобљености код цера, китњака, медунца и сладуна

Слика 48. Графички приказ корелације нагиба терена и циркуларности код цера, китњака, медунца и сладуна

Слика 49. Графички приказ корелације нагиба терена и ширине листа код цера, китњака, медунца и сладуна

Слика 50. Графички приказ корелације нагиба терена и односа дужина/ширина код цера, китњака, медунца и сладуна

Слика 51. Категорије експозиције на подручју ПИО „Космај” добијене преко дигиталног модела терена

Слика 52. Број селекционисаних индивидуа узоркован по категорији експозиције за цео узорак и за врсте појединачно (цер, китњак, медунац, сладун). Скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток

Слика 53. Канонијска дискриминантна анализа категорија експозиције. Скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток

Слика 54. Канонијска дискриминантна анализа параметара добијених MASS анализом за категорије експозиције

Слика 55. РСoА анализа обављена на основу генетичких дистанци код китњака (*Q. petraea*), медунца (*Q. pubescens*) и сладуна (*Q. frainetto*)

Слика 56. РСoА анализа обављена на основу генетичких дистанци код китњака (*Quercus petraea*), медунца (*Quercus pubescens*) и сладуна (*Quercus frainetto*) на нивоу индивидуа

Слика 57. Оптималан број генетичких група код испитиваних популација храстова утврђен применом ΔK Evanno-вог модела

Слика 58. Резултати STRUCTURE анализе за број генетичких група $K = 4$

Слика 59. Резултати STRUCTURE анализе за број генетичких група $K = 6$

Слика 60. РСoА анализа обављена на основу генетичких дистанци за цер

Слика 61. Градилиште које улази директно у шуму (локалитет Кошутица) на Космају (аутор: Шијачић-Николић, 2022)

Слика 62. Издавачко порекло шума на Космају (аутор: Шијачић-Николић, 2022)

Слика 63. Каменолом и дивља депонија на Космају (локалитет Кошугица) (аутор: Јовановић, 2022)

Слика 64. Сушење старих и ослабљених стабала медунца на Космају (аутор: Шијачић-Николић, 2022)

Слика 65. Ерозија земљишта након сече шуме на Космају (аутор: Шијачић-Николић, 2022)

Слика 66. Приоритети конзервације популација истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај”

1. УВОД

Генетички диверзитет представља део свеукупног биодиверзитета, односно, диверзитет алела у оквиру индивидуа, популација или врста. Већи генетички диверзитет омогућава боље прилагођавање условима животне средине, због чега представља основу еволуционих процеса. Смањење генетичког диверзитета, стога, представља и смањење потенцијала прилагођавања стању и променама у животној средини. Еволуционо-адаптациони чиниоци који утичу на генетичку структуру одређене врсте и доприносе процесу еволуције, а тиме и прилагођавању различитим условима станишта, су природна селекција, генетички дрефт, мутације и миграције гена (Morić, 2016).

Варијабилност врста може се посматрати као комплекс двеју категорија – адаптивне варијабилности, која је под утицајем фактора средине и неутралне варијабилности, која не подлеже утицају средине. Анализа адаптивне варијабилности обухвата упознавање распона еколошких услова станишта врсте и морфолошких, анатомских и фенолошких својстава индивидуа на различитим стаништима, док неутрална варијабилност, која може бити процењена применом техника ДНК профилисања, не укључује адаптивне разлике између индивидуа (Milovanović et al., 2021). Управо су храстови (род *Quercus* L.) добар модел за истраживање адаптивне и неутралне варијабилности, због своје еколошке доминације и изузетног диверзитета (Cavender-Bares, 2019). Проучавање генетичке варијабилности храстова помаже одређивању конзервационог и еколошког статуса његових врста, на које утичу не само број индивидуа, већ и укупно повећање или смањење популација током времена, стопе успешности размножавања и познати угрожавајући фактори. Храстови су најчешће доминантни или кодоминантни елементи вегетације, са већим бројем широко распрострањених и еколошки разноврсних врста, које поседују снажан потенцијал еколошке адаптације, праћен израженом варијабилношћу морфологије листа и високим потенцијалом за интрогресију и мрежасту еволуцију, односно, настанак нове линије спајањем две предачке линије, што доводи до формирања филогенетске мреже (Simeone et al., 2018).

Иако се **адаптивна варијабилност** дрвенастих врста може проучавати од нивоа читавих индивидуа до нивоа појединачних морфолошких структура, морфолошке карактеристике листа најчешће су коришћене за истраживање овог типа варијабилности код храстова (Jovanović et al., 2022a-c, 2023a-c). Када се посматра лист као морфолошка структура, иако су његови величина и облик, углавном, одређени генетичким факторима, на њих утичу и фактори средине (Tsukaya, 2005), због чега је важно узимање срединских фактора у обзир приликом објашњавања морфолошких разлика и адаптација на услове станишта. Адаптације шумских дрвенастих врста на хетерогене услове животне средине постале су атрактивна област истраживања, посебно током последњих деценија, делом због потребе разумевања одговора ових дуговечних сесилних организама, важних и у еколошком и у економском аспекту, на брзе срединске промене настале под антропогеним утицајем (Kerkez Janković et al., 2019). Фенотипска пластичност је појава код које одређени генотип ствара различите фенотипове у различитим условима средине, односно, укључује стварање одговарајућег подударана између средине и фенотипа (Pigliucci & Preston, 2004). Ова интеракција између биљке и животне средине открива обрасце фенотипске пластичности у одређеним деловима биљке (Sultan, 2000). Schlichting & Levin (1986) су предложили да је степен варирања у пластичности између таксона делом изазван

адаптацијама и додали да су селекција, генетички дрифт и дисрупција генетичког система покретачке снаге које доводе до еволуционих промена у фенотипској пластичности. Да би превазишле ово ограничење, биљке се адаптирају како би смањиле негативне ефекте штетних срединских услова (Rozendaal et al., 2006). Адаптација је тип пластичног одговора који помаже организму да се прилагоди различитим срединама, ради успешног преживљавања, а чланови групе организама се разликују у адаптивној способности, што доводи до диверзитета врста (Sultan, 2000).

Са друге стране, молекуларни маркери представљају значајан извор информација о **неутралној варијабилности** врста. Молекуларни маркери представљају било које фенотипско својство које је детерминисано малим бројем алела, или фрагменте ДНК молекула различитих величина. Истраживања генетичког диверзитета шумског дрвећа анализом генетичких маркера раније су се базирала искључиво на анализама биохемијских маркера – изоензима, чија је употреба била ограничена малом варијабилношћу у појединим популацијама (Milovanović & Šijačić-Nikolić, 2009; Morić, 2016). Данас су за процену генетичког диверзитета најчешће у употреби ДНК маркери, који се користе за проучавање природних и вештачких популација ради описивања начина размножавања, нивоа инбридинга, просторних и временских образаца варирања генетичког диверзитета, процене таксономских и филогенетских односа, процене утицаја газдовања на генетички диверзитет, као и стварања генских мапа (Morić, 2016).

Осврт на таксономски статус рода *Quercus* L. значајан је за његову конзервацију. У сврху одређивања веза међу таксонима првенствено се користе молекуларни маркери, док друге методе често буду занемарене, као што је случај са морфометријом (граном морфологије која на квантитативан начин анализира и интерпретира разлике у величини и облику морфолошких структура). Међутим, у таксономији и другим сродним областима, молекуларне методе и морфометрија се међусобно допуњују и често се могу паралелно интерпретирати, а све ради лакшег разумевања порекла фенотипских разлика међу врстама и популацијама (Klingenberg, 2010). Новији напредак у истраживању показао је да комбинација морфолошких и молекуларних маркера може значајно допринети упознавању свеукупног диверзитета храстова (Viscosi et al., 2012; Rellstab et al., 2016).

Идентификовање генетичке варијабилности храстова је од кључног значаја за реализацију конзервационих циљева, јер је поуздана информација о дистрибуцији варијабилности предуслов за адекватно спровођење процеса селекције, оплемењивања и конзервације (Milovanović & Šijačić-Nikolić, 2009). На глобалном нивоу, постоје бројне претње интегритету шумских генетичких ресурса које, између осталог, укључују уништавање шума и промене у коришћењу земљишта, неодговарајуће коришћење шума и лоше праксе газдовања, загађење и климатске промене. Храстови су дуговечни, високо хетерозиготни организми, који су развили природне механизме за одржавање високог нивоа унутарврсне варијабилности, као што су високе стопе укрштања и ширење полена и семена на широким подручјима. Ови механизми, у комбинацији са природним срединама, које су често променљиве у времену и простору, допринеле су еволуцији врста храстова у неке од генетски најваријабилнијих организама. Унутарврсна генетичка варијабилност неопходна је да би се осигурала будућа прилагодљивост врста, као и да би се омогућила успешна вештачка селекција и програми узгоја (Amaral et al., 2004).

Шумски генетички ресурси суочени су са бројним негативним факторима, који често делују у синергији, што отежава њихову процену (Šijačić-Nikolić et al., 2016; Nonić & Šijačić-Nikolić, 2019; Šijačić-Nikolić & Nonić, 2019). Губитак станишта и прекомерна

експлоатација природних ресурса су међу главним покретачима изумирања врста широм планете. Ови фактори делују у различитим размерама, у широком распону у виду промена у композицији и конфигурацији предела, а на локалном нивоу у виду прекомерне експлоатације природних ресурса. Бројна истраживања сугеришу да су промене на локалном, као и оне на глобалном нивоу, у стању да изазову генетичку ерозију у природним популацијама. Угроженост шумских генетичких ресурса посебно долази до изражаја на подручјима која су под јаким антропогеним утицајем. Због тога се шумски генетички ресурси суочавају са бројним негативним факторима који их угрожавају и доводе до смањења генетичке варијабилности. Акроним **HIPPO**, који означава пет основних узрока губитка биодиверзитета, добар је модел за приказ угрожавајућих фактора који имају негативан ефекат на шумске екосистеме и варијабилност врста. Ови фактори су губитак станишта (*Habitat alteration*), инвазивне врсте (*Invasive species*), загађење (*Pollution*), раст људске популације (*Population growth*) и прекомерна експлоатација (*Overexploitation*) (Torrance, 2010).

Промене станишта, уништавање шума и њихова деградација једни су од главних узрочника губитка генетичког диверзитета храстова. Деградација станишта је првенствено изазвана променом првобитне намене коришћења шумског земљишта за потребе пољопривреде, ширења насеља и експлоатације сировина. Чисте сече шума и прекомерно коришћење дрвета значајно могу угрозити генетичке ресурсе, јер доводе до уништавања станишта и стварања секундарних екосистема који се одликују смањеним диверзитетом и повећаном фрагментацијом станишта. Фрагментација шума даље доводи до смањења генетичког диверзитета због смањене размене гена, а тиме и до формирања репродуктивно изолованих мањих популација склоних инбридингу. Поред поменутог, сеча веома старих стабала доводи до губитка изузетно ретких генотипова са израженим адаптивним потенцијалом. Такође, ширење алохтоних и инвазивних врста углавном је условљено претходним променама екосистема и може довести до угрожавања биодиверзитета на свим нивоима (на нивоу гена, врста и екосистема) (Šijačić-Nikolić & Nonić, 2019). Поред губитка станишта и ширења алохтоних врста, загађење воде, ваздуха и земљишта може значајно угрозити генетичке ресурсе храстова. Ово загађење најчешће је изазвано саобраћајем и индустријом и значајно може утицати на виталност врста и читавих екосистема. Загађење, прекомерна експлоатација ресурса, уношење инвазивних врста и неодговарајућа употреба шумског генетичког материјала уско су повезани са све већим трендом раста људске популације, који се сматра још једним од фактора који значајно утиче на угрожавање генетичких ресурса (Šijačić-Nikolić et al., 2016). Сви поменути негативни ефекти посебно су наглашени под све већим дејством климатских промена. Генетички диверзитет храстова представља једну од значајних компоненти за суочавање са проблемом глобалних климатских промена, али и сам подлеже ефектима ових промена, што доводи до смањења његове виталности, отпорности и могућности за адаптацију на новонастале услове средине.

1.1. ТАКСОНОМСКА ПРИПАДНОСТ И РАСПРОСТРАЊЕНОСТ РОДА *QUERCUS* L.

Род *Quercus* L. спада у породицу Fagaceae у оквиру реда Fagales. Fagaceae је велика породица, која обухвата више од 1000 врста распоређених у 8 родова, углавном распрострањених на северној хемисфери, али се поједине врсте јављају и на јужној. У Европи, представници ове породице су букве (род *Fagus* L.), кестени (род *Castanea* Mill.) и храстови (род *Quercus* L.) (Sterry, 2007).

Храстови су се појавили пре око 56 милиона година, доживели радијацију и ширили се дуж северне хемисфере. Данас се њихова станишта протежу од екватора (Колумбија и Индонезија), све до бореалних региона до 60° северне географске ширине у Европи, и од нивоа мора до 4000 m надморске висине у Јунан провинцији у Кини. Њихова станишта обухватају пределе од густих низијских шума до отворених травњака и савана, и од алкалног до киселог земљишта. Род *Quercus* L. је диверзификовао у бројне врсте у Америци и Азији, са највећим диверзитетом опсервираним на 15° до 30° северне географске ширине у Мексику и источној Азији. У Европи је богатство врста мање (до 30 врста), али је овај род распрострањен широм континента. Последња истраживања указују да род храстова обухвата приближно 435 врста (Denk et al., 2017). Род *Quercus* L. је, свакако, међу врстама најбогатијим родовима северне хемисфере, заједно са родом *Salix* L. (Tynkevich & Volkov, 2019; Cavender-Bares, 2019; Kremer & Hipp, 2020).

Таксономска структура рода *Quercus* L. вековима је представљала недоумицу за истраживаче. У свом ауторском делу, Карл Лине (Linné, 1753) је набројао 14 врста храстова из Европе и Северне Америке: *Q. alba*, *Q. æsculus* (= *Q. petraea* (Matt.) Liebl.), *Q. robur* и *Q. prinus*; *Q. rubra*, *Q. nigra* и *Q. phellos*; *Q. cerris*, *Q. ægilops* (= *Q. macrolepis* Kotschy), *Q. suber*; *Q. ilex*, *Q. coccifera*, *Q. gramuntia* (= *Q. ilex*) и *Q. smilax* (= *Q. ilex*). Овај број је порастао на 150 врста када је Loudon (1838, 1839) дао прву инфрагенеричку класификацију храстова препознајући десет секција, на основу репродуктивних карактеристика и карактеристика листа. Осам секција (*Albæ*, *Prinus*, *Robur*; *Nigræ*, *Phellos*, *Rubræ*; *Cerris*; *Ilex*) укључивале су врсте које је описао Лине, а поред њих, додате су зимзелене врсте југоисточног дела Северне Америке (секција *Virentes*) и храстови Непала (секција *Lanatae*). Поменути класификација је изузетна из разлога што је установљена фундаментална подела европских храстова (секције *Cerris*, *Ilex* и *Robur*). Ова подела, иако модификована, јавља се у готово свим каснијим класификацијама и одговара кладама већине рецентних молекуларно-филогенетских стабала. Ørsted (1871) је први препознао важну азијску групу храстова и повезао је са групом *Cyclobalanus* (= *Lithocarpus*), храстовима суптропске и тропске источне Азије, за коју је сматрано да је одвојена од рода *Quercus* у род *Cyclobalanopsis*, у оквиру субтрибуса *Quercinae*. Овај концепт су усвојили и каснији истраживачи и још увек се користи у Флори Кине (Huang et al., 1999; Flora of China, 2016). У оквиру другог рода трибуса *Quercinae*, *Quercus* је описан са пет подродова и укупно 16 секција и 174 врсте.

Током раног 20. века, појавила су се два нова концепта класификације, која су од тада коришћена међу истраживачима. Централни/источни европски концепт прати принципе класификације које је дао Schwarz (1936), док западни/јужни европски концепт прати истраживања које је спровела Camus (1938, 1939, 1954). Деценију раније, Trelease (1924) је дао свеобухватан преглед америчких храстова, наводећи 371 врсту у 138 серија и три подрода/секције: *Leucobalanus*, *Erythrobalanus* и *Protobalanus*. Camus и Schwarz су делимично пратили ову поделу америчких храстова приликом посматрања њихових

евроазијских сродника. Camus је пратила општу шему коју је дао Ørsted, али је препознала јединствен род *Quercus* са два подрода – *Cyclobalanopsis* и *Quercus*. Schwarz (1936) је, такође, у основи пратио концепт који је дао Ørsted, али је издвојио два трибуса са по два рода (*Cyclobalanopsis* + *Erythrobalanus*, *Macrobalanus* + *Quercus*). Новитет у овом систему био је подрод *Sclerophyllodrys*, у који су сврстани многи склерофилни храстови Евроазије, подрод *Protobalanus* (укључујући азијску серију *Spathulatae*) и шест зимзелених серија подрода *Erythrobalanus*. Друга важна разлика у односу на Camus је то што је Schwarz усвојио глобални концепт груписања северноамеричких и евроазијских храстова, који је дао Ørsted, у исте секције (*Dascia*, *Gallifera*, *Prinus*, *Roburoides*). Монографски рад везан за класификацију храстова дао је Menitsky (1984), у коме се бавио азијским храстовима. Осим једне врсте (*Q. suber*), Menitsky је сместио све *Ilex* храстове у подрод *Heterobalanus*, док су *Cerris* храстови (сви осим *Q. suber*) формирали једну од две секције подрода *Quercus*.

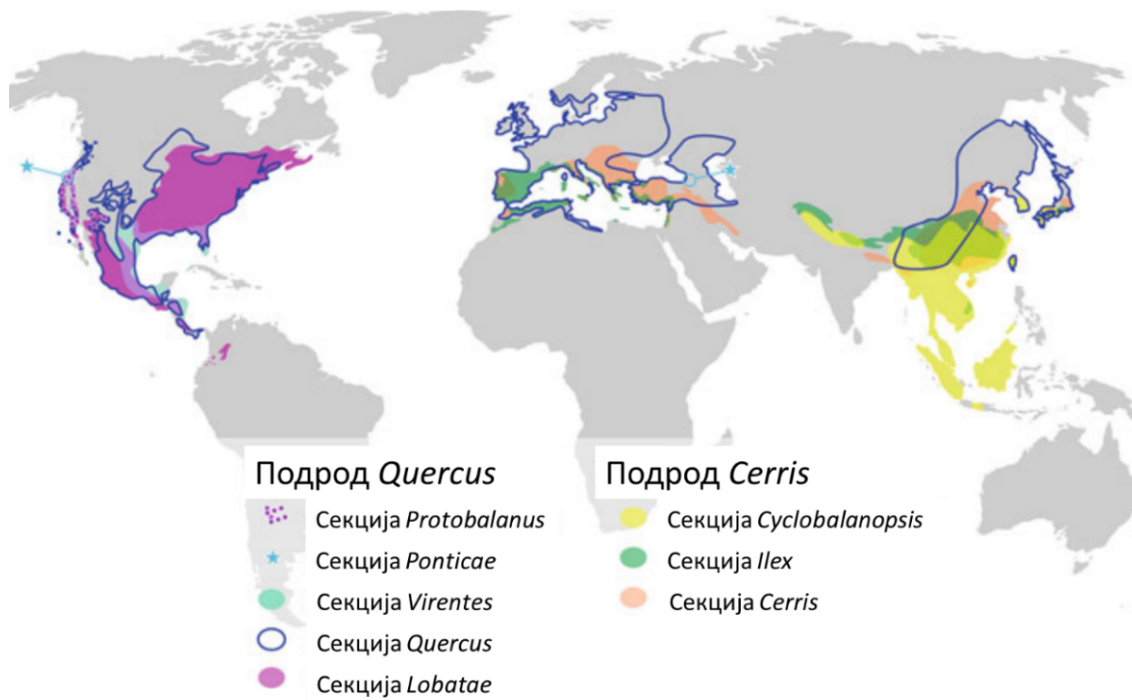
Најчешће коришћену класификацију храстова дао је Nixon (1993), који је усвојио концепт који је дала Camus, али је спојио секције *Cerris* и *Euquercus* у јединствену секцију *Quercus*. На основу последњих модификација првобитне шеме коју је дао Ørsted, род *Quercus* је подељен у два подрода – *Cyclobalanopsis* и *Quercus*. Подрод *Quercus* укључује две природне секције – *Lobatae* и *Protobalanus*, и једну вештачку, хетерогену секцију северне хемисфере – *Quercus*.

Постоје два главна узрока разлика у традиционалној класификацији која се базира на морфологији – процена морфолошких карактера и разматране географске области. Конвергентна морфолошка еволуција је чест феномен код рода *Quercus* и породице Fagaceae уопште. На пример, описи секција које је дао Loudon (1838), *Ilex* (евроазијски *Q. ilex* и сродници) и *Virentes* (северноамерички *Q. virens* Ait. [= *Q. virginiana* Miller]) су у суштини идентични. Из сличних разлога, Ørsted (1871) укључује секцију *Ilex* у подрод *Lepidobalanus*, проширујући ову секцију да укључује зимзелене северноамеричке храстове (секција/подсекција *Virentes*). Са друге стране, *Q. lanata* је укључен у секцију *Prinus*.

Дакле, макроеволуционе студије пратиле су линију диверзификације од настанка рода (пре око 56 милиона година) до данас. Филогенетска истраживања храстова кретала су се од студија морфологије и биогеографије (Trelease, 1924; Camus, 1938) до морфолошке кладистике (Nixon, 1993). Поменута истраживања су учинила евидентним потребу за молекуларним подацима за разликовање хипотеза које наглашавају морфологија, односно биогеографија. Прве молекуларне филогенетске студије анализирале су мали број гена (Whittemore & Schaal, 1991; Manos et al., 1999) и успеле су да открију многе основне везе, али не и оне на нивоу врсте, на врховима филогенетских стабала (Kremer & Hipp, 2020).

Прву молекуларну филогенију за *Quercus* на довољно великом узорку дали су Manos et al. (2001), на основу секвенци нуклеотидног рибозомалног региона и података појединих пластида. Иако је поменута филогенија укључивала ограничени узорак врста Старог Света, довела је у питање традиционалне класификације које су дали Ørsted (1871) и Nixon (1993). Ови и други аутори касније (Oh & Manos, 2008; Denk & Grimm, 2010; Hubert et al., 2014) су на основу молекуларних истраживања показали постојање две, реципрочно монофилетске групе храстова, које могу бити формулисане као два подрода са осам филогенетских линија, прихваћених као секције, које се поклапају са морфолошким групама које су првобитно дали Trelease (1924) и Menitsky (1984):

- Подрод *Quercus*:
 - секција *Protobalanus* (укључује пет врста у југозападној Северној Америци и пет врста у северозападном Мексику);
 - секција *Ponticae* (укључује две врсте у планинским областима североисточне Турске и западне Грузије (Транскавказија) и у западној Северној Америци (од северне Калифорније до јужног Орегона));
 - секција *Virentes* (укључује седам врста у југоисточној Северној Америци, Мексику, на Куби и у Централној Америци);
 - секција *Quercus* (укључује 146 врста у Северној Америци, Мексику, Централној Америци, западној Евроазији, источној Азији и северној Африци);
 - секција *Lobatae* (укључује 124 врсте у Северној Америци, Мексику, Централној Америци и Колумбији у Јужној Америци).
- Подрод *Cerris*:
 - секција *Cyclobalanopsis* (укључује 90 врста у тропским у суптропским областима Азије, укључујући јужне Хималаје);
 - секција *Ilex* (укључује 36 врста у Евроазији и северној Африци);
 - секција *Cerris* (укључује 13 врста у Евроазији и северној Африци) (слика 1) (Denk et al., 2017).



Слика 1. Географска распрострањеност осам секција рода *Quercus* L. (модификована према Denk et al., 2017)

Већина студија микроevolуције храстова су квантификовале степен еволуционих промена у оквиру одређеног временског и просторног интервала или брзину и механизме еволуционих процеса који покрећу еволуционе промене. Генерално, микроevolуциони

процеси су истраживани синхронизованим праћењем особина и генетичких маркера у *in situ* и *ex situ* условима. Већина ових истраживања била су фокусирана на врсте храстова које су широко распрострањене у северној умереној зони, односно на популације које су настале током последњег постгласијалног загревања (током холоцена). Главне еволуционе промене током овог периода изазване су микроеколошким променама, односно загревањима и хлађењима која су позната као „мала ледена доба”. Утицај климатских промена, које трају свега неколико векова, на шумске екосистеме, забележен је у северним областима (MacDonald et al., 2008). У другим деловима света, као што је Мексико, где је диверзитет храстова највећи, климатске промене биле су праћене формирањем планина током холоцена (Ferrari et al., 2012). Климатске и орогене промене служиле су као снажни селективни покретачи, утичући на миграцију, колонизацију нових станишта, адаптацију и интродукцију (Kremer & Hipp, 2020).

1.1.1. Распрострањеност храстова у Европи

У европском и медитеранском региону присутна је изузетна морфолошка варијабилност рода *Quercus* L. Greuter et al. (1986) су набројали 31 врсту, укључујући пет које су под знаком питања, као и 17 субспецијских ентитета. Samus (1938, 1939) је препознала још већи диверзитет од укупно 76 врста. Поменуто варијабилност, због чињенице да храстови веома лако хибридују и да је тачна дефиниција врсте веома тешка, била је предмет дискусија током неколико деценија. Новије класификације показују тенденције редукције броја врста, истичући сличности више него разлике – на пример, у првом издању Флоре Европе (Schwartz, 1964) идентификовано је 25 врста храстова у Европи, што је смањено на 20 у другом издању (Schwartz, 1993). Разликовање врста храста углавном је вршено на основу морфолошких параметара, морфологије плода, генетичких и биохемијских маркера (Bussotti & Grossoni, 1997). Проучавајући хлоропласну ДНК код европских храстова на преко 2600 популација које укључују осам врста, Petit et al. (2005) су показали да већина хаплотипова пронађена у северној Европи такође постоји и на југу, док у супротном то није случај, указујући да је већина опсервираних мутација настала након постгласијалне реколонијације. Ови аутори такође сугеришу да постоје и регионалне разлике у нивоима диференцијације, које могу бити повезане са интензитетом прошлог или актуелног газдовања шумама широм Европе, али и са нивоима фрагментације области распрострањености у оквиру ових региона.

За највећи део Европе род *Quercus* L. је најзначајнији вегетацијски и флористички феномен. На пример, лужњак (*Quercus robur* L.) је врста која у Европи има највећу област распрострањености у односу на остале лишћарске врсте, китњак (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) је значајна брдско-планинска врста, док многе врсте имају регионални биогеографски значај. У оквиру свих европских врста храстова истиче се динамичан процес специјације који се огледа у унутарврском полиморфизму и богатству подврста, варијетета и форми (Janković, 1973). Неке од врста храстова које се јављају у Европи (и шире) су *Quercus dalechampii* Ten. (југоисточна Европа), *Q. faginea* Lam. (југозападна Европа), *Q. hartwissiana* Steven (југозападна Бугарска, северна Турска, западна Грузија, југозападна Русија), *Q. cerris* L. (јужна Европа и југозападна Азија), *Q. petraea* (Matt.) Liebl. (Европа и Анатолија), *Q. pubescens* Willd. (Европа и Анатолија), *Q. robur* L. (Европа и западна Азија), *Q. canariensis* Willd. (Шпанија и Северна Африка), *Q. frainetto* Ten. (југоисточна Европа), *Q. pyrenaica* Willd. (југозападна Европа), *Q. coccifera* L. (јужна

Европа), *Q. ilex* L. (јужна Европа и северозападна Африка), *Q. infectoria* Oliv. (јужна Европа и југозападна Азија), *Q. ithaburensis* Desne. (југоисточна Европа и југозападна Азија), *Q. suber* L. (југозападна Европа и северозападна Азија), *Q. trojana* Webb (југоисточна Европа).

1.1.2. Распрострањеност храстова у Србији

Балканско полуострво представља једно од најзначајнијих подручја Европе у погледу филогенезе рода *Quercus*. Ово је значајно подручје на коме се одвијала постгласијална, и уопште посттерцијерна и терцијерна еволуција европских врста храстова, захваљујући рефугијалном карактеру ове области, специфичној клими и рељефу (Јанковић, 1973).

Од представника рода *Quercus* на територији Републике Србије присутни су цер (*Quercus cerris* L.) – широко распрострањен у Србији, осим у Војводини; балкански китњак (*Quercus dalechampii* Ten.) – распрострањен на Копаонику, левој обали Дрвенте, Маљену, Сувобору, Гочу, Косову; сладун (*Quercus frainetto* Ten.) – распрострањен у источним брдским пределима Србије; китњак (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) – распрострањен од Фрушке горе и Вршачких планина на северу, до Метохије на југу, од Таре на западу до Старе планине на истоку Србије; медунац (*Quercus pubescens* Willd.) – широко распрострањен, посебно у јужним крајевима Србије, ређе се јавља у Војводини; лужњак (*Quercus robur* L.) – широко распрострањен, посебно у низијама и долинама већих река у Војводини, Мачви и Поморављу; македонски храст (*Quercus trojana* Webb) – распрострањен на крајњем југу Србије (Метохија); степски лужњак (*Quercus pedunculiflora* К.Коч) – распрострањен у шумама крај Тимока (Блаженчић et al., 2005; Костић, 2013). Шуме храста заузимају 25% укупног шумског фонда Републике Србије. Стање шума појединих врста храстова анализираних у овој докторској дисертацији приказано је у табели 1.

Табела 1. Стање шума цера, сладуна, китњака и медунца на територији Републике Србије (према Ванковић et al., 2008)

		Цер	Сладун	Китњак	Медунац
Површина	Укупна површина (ha)	345,200	159,600	173,200	10,400
	Укупна површина у државном власништву	24,1%	33,8%	44,3%	52,2%
Порекло	Учешће у површини високих шума	5,7%	11,3%	25,9%	/
	Учешће у површини изданаčkih шума	94,3%	88,7%	74,1%	100%
Очуваност	Очуване састојине	74,4%	84,0%	73,7%	76,9%
	Разређене састојине	23,8%	14,8%	23,3%	19,3%
	Девастиране састојине	1,8%	1,2%	3,0%	3,8%
Мешовитост	Чисте састојине лишћара	53,7%	53,1%	57,5%	50,0%
	Мешовите састојине лишћара	45,3%	46,4%	40,9%	42,3%
	Мешовите састојине лишћара и четинара	1,0%	0,5%	1,6%	7,7%

Иако је већина врста рода *Quercus* L. која је присутна у Републици Србији сврстана у категорију „последња брига” (LC, *Least Concern*), према критеријумима Међународне уније за заштиту природе (IUCN, *International Union for Conservation of Nature*), на националном нивоу две врсте су заштићене Уредбом о заштити природних реткости (Службени гласник Републике Србије бр. 50/93 и 93/93) – степски лужњак (*Quercus pedunculiflora* K. Koch) и македонски храст (*Quercus trojana* Webb) (Rivers et al., 2019).

1.2. ОСНОВНЕ ОДЛИКЕ ИСТРАЖИВАНИХ ВРСТА

1.2.1. Цер (*Quercus cerris* L.)

Врста *Quercus cerris* L., познат по народном називу цер, представља крупну, брзорастућу дрвенасту врсту која може нарасти до 40 m у висину и достићи пречник стабла од 1,5 до 2 m, са јако добро развијеним кореновим системом. Може достићи старост од 120 до 150 година. Кора је бледо љубичаста до сива и дубоко избраздана црвенкастосмеђим или наранџастим пукотинама. У поређењу са другим врстама храста, као што су китњак (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) и лужњак (*Quercus robur* L.), дрво цера је ниског квалитета и погодно само за грубу обраду или за огрев. Листови су са лица тамнозелене боје, док су са наличја сивкасти, различитих величина и облика, али обично од 9 до 12 cm дугачки и 3 до 5 cm широки, са 7 до 9 пари троугластих режњева (слика 2). Листови добијају златно-жуту боју у касну јесен и опадају, или се задржавају на крошњи до следећег пролећа, посебно на младим стаблима (de Rigo et al., 2016). Код цера се, у погледу дубине уреза на листовима, разликују два варијетета – var. *haliphloeos* Lam. et DC и var. *austriaca* (Willd.) Loud. Варијетет *haliphloeos* има перасто дељене листове, усечене и до самог главног нерва, што представља резултат прилагођавања на већу ксеротермизацију климе, што се уочава на основу смањене транспирационе површине листова. У поређењу са варијететом *austriaca*, варијетет *haliphloeos* боље подноси сушу и заступљен је на ксеротермнијим стаништима. Варијетет *austriaca* има листове са плитко зарезаним режњевима или само назубљене листове. Јавља се у северним и западним деловима Балканског полуострва и слабије је прилагођен ксеротермним условима станишта. Понекад је тешко разликовати два поменута варијетета, јер постоје случајеви да се на истој индивидуи јављају листови различитог облика – тип *austriaca* и тип *haliphloeos* (Торић, 2015). Гранчице цера су дугачке и покривене длачицама, сиве или маслинасто зелене, са лентицелама. Пупољци, који су концентрисани на врховима гранчица, длакави су и јајастог облика, обично окружени дугачким ресама. Цветови су једнодоми и опрашују се ветром, а појављују се од априла до маја. Плод је жир без петељке (слика 2), од 2 до 3,5 (5) cm дугачак и око 2 cm широк. Купула жира покривена је чекињама. Жир цера сазрева друге године, али клија и размножава се веома лако (de Rigo et al., 2016).

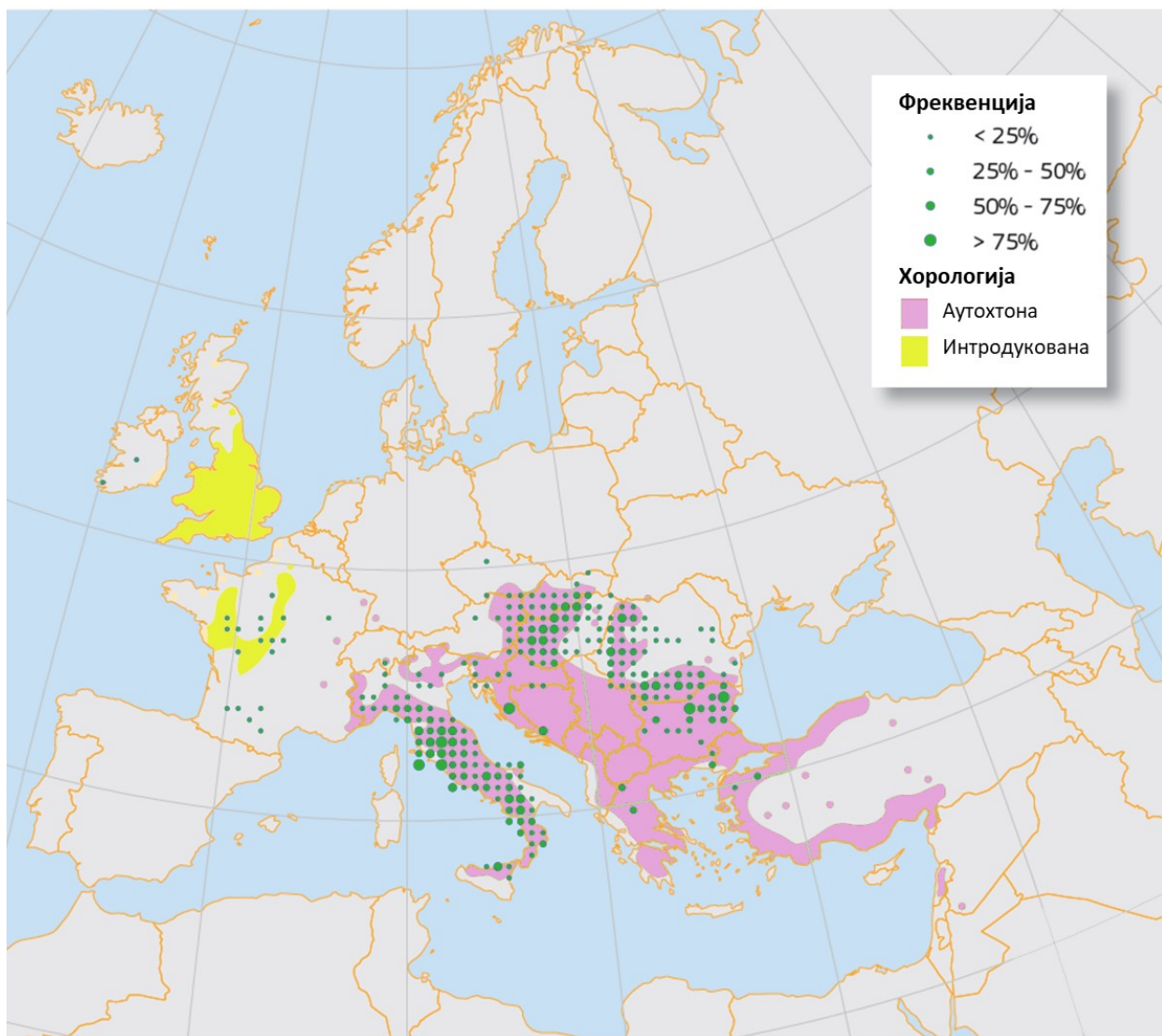


Слика 2. Лист и плод цера

Област распрострањености ове врсте протеже се од јужне Европе до Мале Азије (слика 3). Дуж своје области распрострањености, нарочито је присутан на Балканском и Апенинском полуострву. Западна граница природног ареала је Француска, а северна Немачка, настављајући се источно ка Чешкој, Словачкој и Мађарској. То је један од дванаест аутохтоних врста храстова и у Албанији. У Бугарској насељава сувља станишта у равничарским и брдским пределима, где формира шуме са другим врстама храста (*Quercus frainetto* Ten., *Q. pubescens* Willd.) и другим лишћарима као што су клен (*Acer campestre* L.), пољски брест (*Ulmus minor* Mill.), граб (*Carpinus orientalis* Mill.) и црни јасен (*Fraxinus ornus* L.). Значајан је и у Мађарској, где формира преко 11% површина под шумом. У Италији расте од нивоа мора до Апенина и покрива око 280.000 ха, често у заједници са сладуном (*Quercus frainetto* Ten.). Такође је широко распрострањен у Словенији, најчешће у субмедитеранским областима као што су Крас, Бркини и Толмин, али увек на топлим и сувим стрмим падинама у континенталним деловима земље. Због климатских промена, очекује се да ће глобално ова врста проширити свој ареал ка северу. Цер је интродукован у већи број области, као што су Уједињено Краљевство, Француска, Северна Америка, Украјина, Аргентина и Нови Зеланд (de Rigo et al., 2016).

У Србији, цер насељава ксеротермне и мезотермне шуме, најчешће у заједници са сладуном (*Quercus frainetto* Ten.), а јавља се и у изданачким шумама источне Србије (Kostić, 2013). Шуме цера, једне од најприсутнијих у Србији, заузимају 345.200 ха, углавном су изданачког порекла. Стање шума цера се оцењује као добро, са очуваним

шумама које покривају 74,4% површине, ретким које покривају 23,8% и девастираним које покривају 1,8%. У изданаџним шумама густина састојина је израженија (1.007) у поређењу са високим шумама (765 стабала по ha). У високим шумама, просечна запремина износи $264 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, а у изданаџним $136 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Висина текућег запреминског прираста у високим шумама износи $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, а у изданаџним је $3,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. У шумама цера заступљеније су чисте састојине (53,7% површине) у односу на мешовите (46,3%) (Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008).



Слика 3. Област распрострањености и поједностављена хоролошка мапа цера (модификована према de Rigo et al., 2016)

Цер се добро прилагођава различитим условима станишта. Релативно је толерантан на сушу (више од других врста хрстова исте области распрострањености) и загађење ваздуха, може расти на различитим типовима земљишта, укључујући слабо кисела земљишта, псеудоглеј, плитка кречњачка земљишта, све док нису сувише сува. Развија снажан корен са дубоким бочним огранцима који обезбеђује стабилност при налетима

ветра. Захтева добру осветљеност, али може расти и у сенци у светлим шумама. Поседује многе пионирске карактеристике, као што је добра клијавост семена и брз рани раст (de Rigo et al., 2016).

Дрво цера има релативно слабу употребу због тенденције пуцања и ниског технолошког квалитета. Често се користи као огрев, јер има исту калоријску вредност као граб и буква. У ранијем периоду, дрво цера било је коришћено за израду железничких прагова, а још увек се користи за производњу грађе у источном делу своје области распрострањености. Еколошки значај цера огледа се у конзервацији земљишта, контроли ерозије и пошумљавању голети, због своје способности брзог раста на различитим типовима земљишта. Ова врста се често сади у урбаним подручјима као украсно дрво. Жир и млади изданци представљају важан извор хране за животиње у медитеранским областима. Користи се у традиционалној медитеранској медицини као антиинфективно средство (de Rigo et al., 2016).

Гљивична обољења изазвана врстама *Discula quercina*, *Hipparion mediterraneum* и *Biscogniauxia mediterranea* могу изазвати потенцијално тешке инфекције код цера, а *Huroxylon mediterraneum* може допринети смањењу бројности у сушним областима. Губар (*Lymantria dispar*) је један од најзначајнијих инсеката који угрожава цер, јер напада лист током лета. Цер је, такође, један од домаћина осе шишаруше (*Andricus quercuscalicis*), која поред цера у свом животном циклусу инфицира и лужњак (*Quercus robur* L.). Биљна ваш *Phylloxera quercus* угрожава цер у многим европским земљама. Цер је, такође, подложен инфекцијама биљним патогеном из рода *Phytophthora* (*P. cinnamomi*, *P. ramorum*), који напада коренов систем, а умерено је подложен и инфекцијама врстом *Cryphonectria parasitica*. У урбаним срединама, цер може бити угрожен од стране храстовог четника (*Traumatocampa processionea*). Такође, бројне врсте тврдокрилаца могу угрозити цер стварањем галерија у стаблу (de Rigo et al., 2016).

Према критеријумима Међународне уније за заштиту природе, цер је сврстан у категорију „последња брига” (*Least Concern*, LC) (Oldfield & Eastwood, 2007; Carrero et al., 2020).

1.2.2. Сладун (*Quercus frainetto* Ten.)

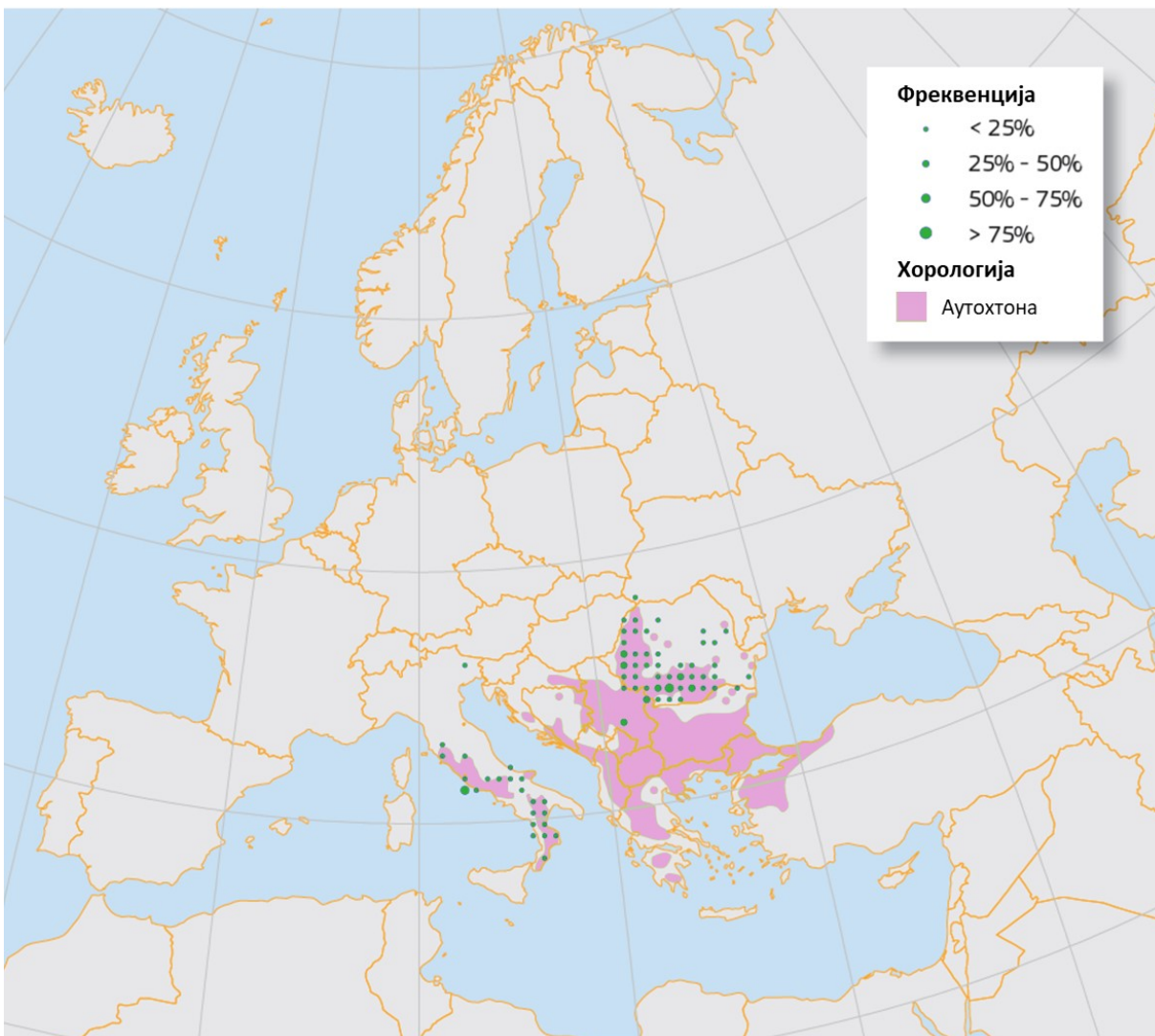
Сладун је крупно листопадно дрво које може достићи висину већу од 30 m и старост од око 200 година. Стабло је витко, слично китњаку (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Гранчице овог храста покривене су длачицама. Листови су крупни и специфични – до 25 cm дугачки, најшири у близини вршног дела, са великим бројем дубоких режњева (највише од свих врста храстова). Основа листа је обично аурикуларна (налик уху), и у неким случајевима покрива лисну дршку. Са наличја, листови су покривени густим длачицама. Изданци су крупни, браон боје и длакави. Цветови су једнодоми (појединачни цветови су или мушког или женског пола, али оба типа цвета се могу наћи на истој индивидуи) и опрашују се ветром. Жир је до 25 mm дугачак и јајоликог облика (слика 4). Купула жира је седећа и покривена дугачким преклапајућим љускама и длакама (Mauri et al., 2016).



Слика 4. Лист и плод сладуна

Палеоеколошки подаци указују да је сладун био присутан на Пелопонезу пре око 6000 година. Сматра се врстом која аутохтоно насељава југоисточну Европу као елемент субмедитеранске флоре, са најширом распрострањеношћу дуж Балканског полуострва. Присутан је и у северозападној Турској и јужној Италији, у форми раштрканих популација дуж преапенинских гребена (слика 5). Иако се на енглеском језику назива „мађарски храст” (енгл. *Hungarian oak*), његово присуство у Мађарској је спорадично и углавном резултат интродукција. Овај храст је често повезан са мешовитим групама (као и хибридима) других врста храстова дуж своје области распрострањености. Као и друге врсте храстова, доживео је период опадања бројности због промене климе и људског утицаја, али се због очекиваног отопљавања сматра да ће се његова област распрострањености проширити на Шпанију, Француску и северну Италију (Mauri et al., 2016).

У Србији, сладун улази у састав климатогене заједнице храстовог појаса, односно шума сладуна и цера (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949), које покривају велики део површине Србије, а посебно су заступљене у Шумадији (Kostić, 2013). Србија се налази у близини северозападне границе природне области распрострањености сладуна (Porović et al., 2021). Шуме сладуна заузимају површину од 159.600 ha. Доминантне су изданачке шуме које покривају 88,7% површине, док високе шуме заузимају 11,3%. Густина састојина изданачког порекла износи 1.160 стабала по ha, а у шумама високог порекла је 769 стабала по ha. Просечна запремина у изданачким шумама је $124 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, док је у шумама високог порекла $192 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Запремински прираст у високим шумама је $4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, а у изданачким $3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. У шумама сладуна израженије је присуство мешовитих састојина (53,6%) у односу на чисте (46,4%). Очуване састојине покривају 84,0% површине, разређене 14,8% површине, а девастиране шуме 1,2% површине (Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008).



Слика 5. Област распрострањености и поједностављена хоролошка мапа сладуна (модификована према Mauri et al., 2016)

Сладун је мезоксерофилна врста, што значи да насељава станишта на прелазу типичне медитеранске и континенталне климе, са топлим летима и хладним зимама. Захтева доста светлости и не толерише засенченост. Еколошки значај сладуна огледа се у томе што расте на киселим земљиштима и подноси високу сатурацију земљишта водом, иако има ужу еколошку амплитуду у поређењу са цером у већини аспеката. Сладун може формирати чисте састојине, али чешће се јавља заједно са црним грабом (*Ostrya carpinifolia* Scop.), белим грабом (*Carpinus orientalis* Mill.), црним јасеном (*Fraxinus ornus* L.) и цером (*Quercus cerris* L.). Такође, толерантнији је на сушу у поређењу са цером, али мање толерантан у поређењу са више медитеранским врстама храста, као што је црника (*Quercus ilex* L.) (Mauri et al., 2016).

У Грчкој, сладун представља важно дрво за грађу, због чега се често сади, као и за потребе производње огрева. У другим земљама, најчешће се користи као дрво за огрев, иако је његов квалитет сличан квалитету китњака (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Због прилично високе трајности дрвета, сладун се користио као грађевински материјал у

грађевинарству и рударству, док је ретко коришћен за производњу буради и намештаја (Mauri et al., 2016).

Као и друге врсте храста широм Европе, сладун је претрпео периоде опадања бројности под утицајем бројних биотичких и абиотичких фактора. Угрожава га губар (*Lymantria dispar*) и бројни патогени из рода *Phytophthora* (*P. cinnamomi*, *P. ramorum*) који нападају коренов систем. Бројни тврдокрилци, лисне ваши (*Thelexes suberi*), осе и гљиве (*Apiognomonina quercina*), такође могу изазвати штете. Сладун је умерено подложен и инфекцијама врстом *Cryphonectria parasitica*. Промене у падавинском режиму и учесталост патогена изазвана стресом, као што је *Hypoxylon mediterraneum*, сматрају се разлогом опадања бројности сладуна у централној и јужној Италији. У многим деловима своје области распрострањености, бројност сладуна је редукована под утицајем антропогеног притиска и претварања земљишта у обрадиве површине (Mauri et al., 2016).

Према критеријумима Међународне уније за заштиту природе, сладун је сврстан у категорију „последња брига” (*Least Concern*, LC) (Oldfield & Eastwood, 2007; Carrero et al., 2020).

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

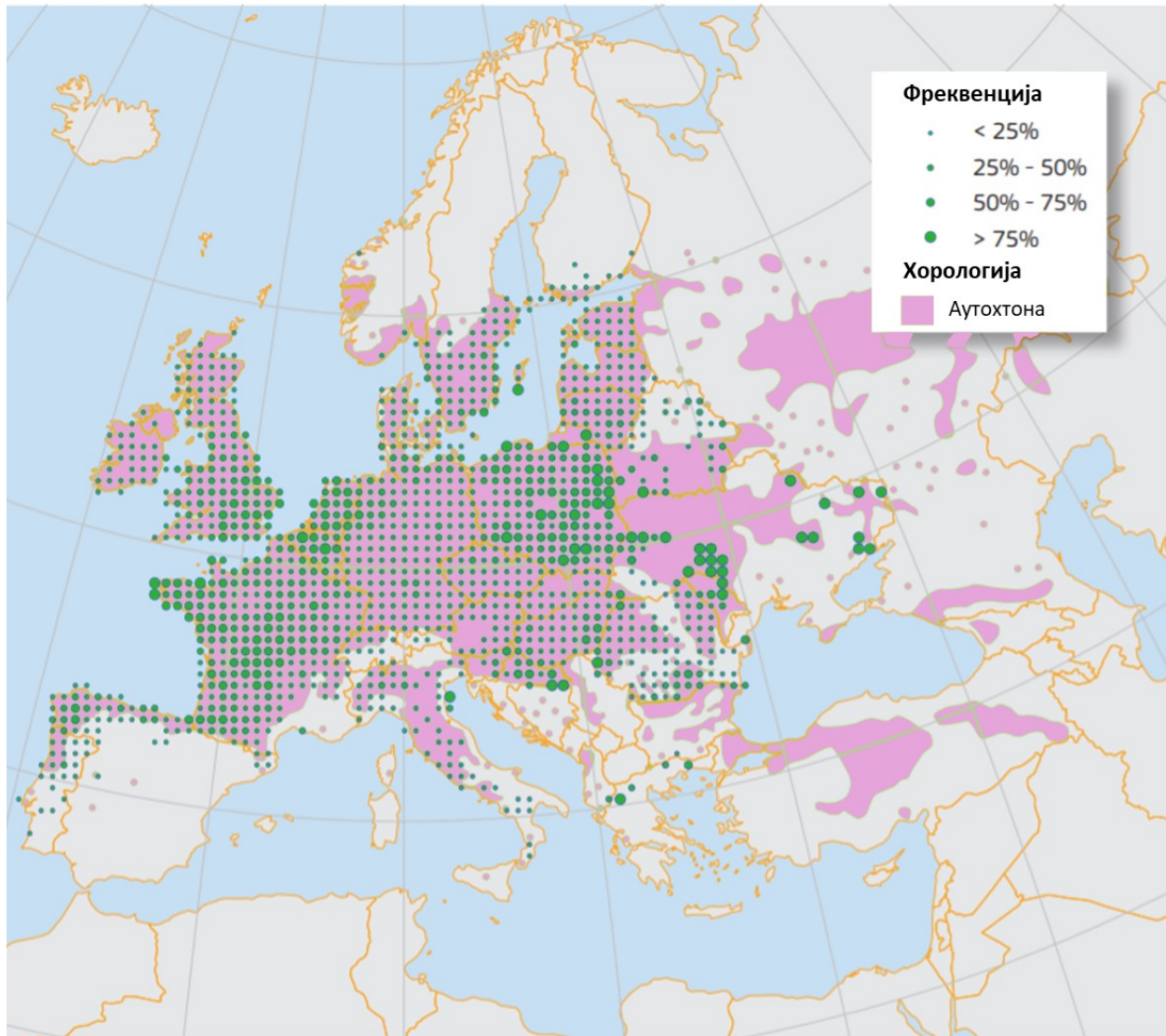
Китњак је крупно, листопадно дрво, које аутохтоно насељава већину Европе. Може живети јако дуго, бити веома крупан (преко 40 m висине), са пречником стабла и до 4 m. Најчешће, ова врста достиже висину до 30 m и пречник стабла до 1 m. Китњак је често тешко разликовати од лужњака (*Quercus robur* L.), због чега је велики број истраживања управо посвећен начинима разликовања ове две врсте (нпр. Aas, 1993; Bacilieri et al., 1994; Gömöry et al., 2001; Gugerli et al., 2007). Главно стабло лужњака „нестаје” у крошњи, развијајући неправилне гране са изувијаним огранцима. Кора је сива, испуцала и формира правоугаоне издужене блокове. Листови су једноставни, јајоликог облика, са уском базом и широким вршним делом, издужени и дубоко неправилно режњевити са дужом дршком (13 до 25 mm) (слика 6) (Eaton et al., 2016). Код китњака, листови у својој основи не поседују аурикуле (Sterry, 2007). Китњак је једнодома врста и опрашује се ветром, са висећим мушким цветовима у облику жутих реса дугачких око 5 cm, и неупадљивим глобуларним женским цветовима дугачким око 1 cm на терминалним изданцима, који се појављују одмах након избијања првих листова. Плод је жир са купулом, често се јавља у паровима. Дршка на жиру је код китњака одсутна (одатле потиче енглески назив „*sessile oak*”, што значи „сесилни”, односно „седећи”, без дршке) (слика 6). Сисари и птице су важни за дисперзију семена ове врсте, посебно креја (*Garrulus glandarius* L.), за коју се сматра да је главни разносилац семена (Eaton et al., 2016).



Слика 6. Лист и плод китњака

Китњак се јавља у већем делу Европе, досежући северно до јужне Норвешке и Шведске, и јужно до северних делова Пиринејског полуострва, јужне Италије, Балканског полуострва и Турске (слика 7). Јавља се на већим надморским висинама у јужним регионима – забележен је у планинским областима јужне Турске на надморској висини од око 2000 m. Због јаког антропогеног утицаја, структуру и распрострањеност природних шума ове врсте тешко је установити (Eaton et al., 2016).

Храст китњак такође има широку распрострањеност у Србији – од Фрушке горе и Вршачких планина на северу, до Козјака, Козарника и Метохије на југу, и од Таре на западу до Старе планине на истоку. Насељава низије, брдска и нижа планинска подручја. Распрострањен је од 200 m надморске висине на северној граници области распрострањености у Србији, до 1200 m на јужној и источној граници (Stojanović et al., 2007). У Србији су шуме китњака смештене изнад климатогене шуме сладуна и цера – у горњем делу брдског појаса и нижем планинском појасу (Poročić et al., 2020). У Србији, китњак заузима површину од 173.200 ha. Шуме ове врсте су углавном изданачког порекла и покривају 74,1%, док високе састојине заузимају 25,9% површине. Густина је израженија у изданачким шумама (1.047 стабала по ha), у поређењу са високим шумама (646 стабала по ha). Састојине високог порекла имају запремину од $183 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ и текући запремински прираст од $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, док у изданачким шумама запремина износи $104 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, а текући запремински прираст $2,8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Очуване састојине китњака покривају 73,7%, разређене 23,3%, а девастиране 3,0% површине. Чисте састојине китњака покривају 57,5%, а мешовите састојине 42,5% од укупне површине китњакових шума у Србији (Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008).



Слика 7. Област распрострањености и поједностављена хоролошка мапа китњака (модификована према Eaton et al., 2016)

Китњак је дрвенаста врста са широком еколошком амплитудом, иако преферира плодна и влажна земљишта. Доминира у величини и броју на нижим и средњим надморским висинама. Ова врста може имати особине пионирских врста, њени жирови поседују велике резерве хранљивих материја и способни су да преживе у густим травама док не развију довољно дубок корен. Пошто китњак олистава релативно касно (крај априла и почетак маја), касни мразеви ретко представљају проблем, осим ако температуре достигну испод -3°C . Температуре испод -6°C уништавају жир. Дубоки коренови дају китњаку структурну стабилност и омогућавају да преживи сушне периоде године. Китњак је толерантан на сушу, због чега преферира области са утицајем атлантске климе, где расте на лакшим, добро дренираним, често каменитим земљиштима (одакле и потиче латински назив *petraea* – каменита места), па се често јавља на падинама и врховима брда на киселом земљишту. Ова врста захтева доста светлости. У природним условима, китњак ретко формира чисте састојине, а његов главни компетитор је буква (*Fagus sylvatica* L.).

Китњак доминира на влажним земљиштима богатим хранљивим материјама, где се јавља заједно са грабом (*Carpinus betulus* L.), и другим лишћарима као што су јасен (*Fraxinus excelsior* L., *F. angustifolia* Vahl), клен и јавор (*Acer campestre* L., *A. platanoides* L.) и ситнолисна липа (*Tilia cordata* Mill.). У шумама у којима доминирају заједнице храста и граба, буква је ван своје области распрострањености, или изостаје јер су земљишта релативно сува и топла, или превише влажна. У топлијим и сувљим областима субмедитеранског региона, китњак се може мешати са медунцем (*Quercus pubescens* Willd.), формирајући ред *Quercetalia pubescenti-petraeae*. На сиромашним и киселим земљиштима, где се буква не може регенерисати, формирају се мешовите шуме које обухватају класу *Quercetea robori-petraea*, релативно малу и раштркану у оквиру распрострањења букве. Китњак је присутан и у другим типовима шума као секундарна врста, посебно у буковим шумама на нижим надморским висинама, где су земљиште и климатски услови још увек погодни за храстове (Eaton et al., 2016).

Још од најранијих времена, китњак је представљао важан извор огрева, хране за животиње и материјала за градњу. Заједно са лужњаком, китњак је међу економски најважнијим листопадним шумским дрвећем у Европи, јер обезбеђује висококвалитетно тврдо дрво за грађу и производњу намештаја. Китњак је цењен због своје тврдоће и издржљивости, јер га висок садржај танина чини отпорним на нападе гљивица и инсеката. Традиционално је коришћен у изградњи дрвених оквира зграда и ограда, а у прошлости је био и главни елемент у градњи једрењака. Такође, намештај, подне плоче, ламперија и столарија главни су производи дрвета ове врсте. Пошто је дрво китњака отпорно на утицај течности, користи се за производњу буреда за вино и жестока пића. Највредније храстово дрво има уске прстенове и произведено је у мешовитим шумама на плодним земљиштима. Успешан узгој овог храста захтева посебну пажњу, одабир одговарајуће мешавине врста листопадног дрвећа, пропорцију и густину, који снажно утичу на квалитет дрвета у погледу пречника стабла, ширине прстенова и присуства чворова формираних од стране бочних изданака. Неколико сорти китњака користи се као украсно дрвеће, као што је *Quercus petraea* 'Laciniata', са дугачким, уским и дубоко урезаним листовима. Еколошка улога китњака је велика, јер представља станиште бројних инсеката, док његов плод (жир) служи као извор хране за многе птице и сисаре (Eaton et al., 2016).

Бројни инсекти могу уништити прве листове у току године (*Tortrix viridana*, *Lymantria dispar*, *Operophtera brumata*). Као резултат посебно изражених инфестација, поготово у комбинацији са гљивом *Erysiphe alphitoides*, продуктивност китњака може бити озбиљно ограничена, јер гљивица покрива површину листова, спречавајући да светлост допре до њих. Последњих година, храстов четник (*Thaumetopoea processionea*) је проширио свој ареал из јужне Европе ка северу, а гусеница ове врсте се храни листовима китњака и одбацује микродлаке које могу надражити респираторни систем, очи и кожу човека, због чега је јако штетан и за храстове и за човека. Такође, оса шишаруша (*Andricus quercuscalicis*) може нанети штете жиру. Млада стабла, такође, могу бити угрожена због скидања коре од стране веверица. Китњак је веома осетљив на губара (*Lymantria dispar*) и умерено подложен дејству *Cryphonectria parasitica*. Ова врста храста је под утицајем гљивичног паразита кореновог система из рода *Phytophthora* (*P. cinnamomi*, *P. ramorum*, *P. quercina*) (Eaton et al., 2016). Последњих деценија, састојине, групе и индивидуе китњака се суше у готово читавој области распрострањености, највероватније због утицаја глобалних климатских промена, промена популационе структуре, аерозагађења, биљних патогена и других фактора (Popović et al., 2020).

Према критеријумима Међународне уније за заштиту природе, китњак је сврстан у категорију „последња брига” (*Least Concern, LC*) (Oldfield & Eastwood, 2007; Carrero et al., 2020).

1.2.4. Медунац (*Quercus pubescens* Willd.)

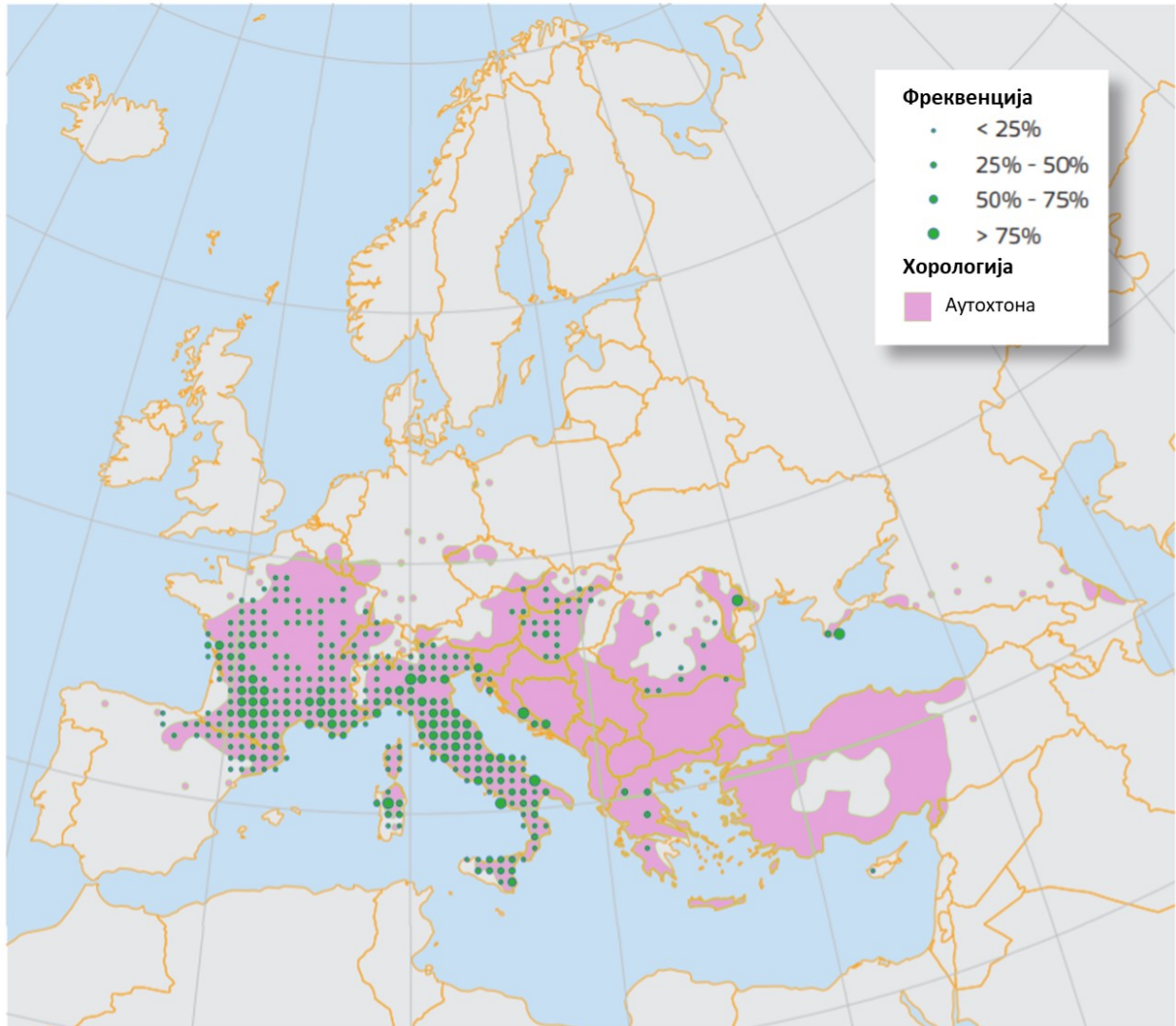
Медунац је дрво средње величине (15 до 20 m, ретко 25 m висине). Његови наизменични листови су углавном јајасто издужени, дужине 5 до 10 cm, са кратком лисном дршком (5 до 20 mm) и са 5 до 6 мање или више дубоких режњева (слика 8). Листови су густо длакави, зелено-сиве боје на почетку развоја. Убрзо након што све длаке са лица листа опадну, листови постају кожести и тамнозелени (Pasta et al., 2016). Иако слични листовима лужњака (*Quercus robur* L.), листови медунца су мањи, са плићим и зашиљенијим режњевима и длакавом лисном дршком (Sterry, 2007). Мушки цветови имају 6 до 10 прашника, груписани су у ресе које расту заједно са младим листовима у основи изданака. Кратки женски цветови на петељкама се развијају у пазуху дисталних листова. Плодови су често у групама од три до четири жира, имају кратку и длакаву дршку, углавном су елиптични (2 до 3,5 cm дугачки) и покривени од $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ своје укупне дужине купулама, које су покривене троугластим длакавим љуспама (слика 8). Сезона цветања (од марта до маја) варира са надморском висином. Крупни жирови сазревају од септембра до новембра, одмах клијају и за кратко време развијају снажан корен. Кора медунца је дубоко избраздана и храпава (Pasta et al., 2016).



Слика 8. Лист и плод медунца

Концепт врсте је веома тешко применити код храста медунца, првенствено због честе хибридизације са другим врстама храста попут шпанског храста (*Quercus pyrenaica* Willd.), португалског храста (*Q. faginea* Lam.), китњака (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) и сладуна (*Q. frainetto* Ten.), због сложене историје преживљавања и миграције ове врсте током плеистоценске глацијације, као и због фрагментације и изолације популација услед крчења шума. Ови супротстављени процеси (хибридизација у односу на инбридинг и генетички дрифт због фрагментације станишта) објашњавају високу морфолошку варијабилност медунца. Стога, многи еко-морфотипови који насељавају јужноевропска полуострва и/или главна медитеранска острва сматрају се ендемитима, као што је *Quercus virgiliana* Mill. (укључујући *Q. amplifolia* Willd.) на балканско-понтском подручју, *Quercus brachyphylla* Kotschy у јужној Грчкој, Криту и југозападној Анатолији, *Quercus pubescens* subsp. *crispata* (syn. subsp. *anatolica*) у централној и западној Анатолији и у неколико изолованих популација у кавкаској области (Дагестан, Грузија, Азербејџан), *Quercus congesta* C. Presl (укључујући *Q. leptobalanos* Guss.) на Сардинији, Сицилији и у јужној Италији, као и *Quercus ichnusae* Mossa, Bacch. & Brullo на Сардинији. Само детаљне статистичке методе примењене на морфолошким особинама омогућавају разликовање неких од поменутих таксона, док генетичке анализе још увек не истичу јасне разлике међу њима, због чега су све поменуте врсте и подврсте сврстане у једну врсту. На овај начин, *Quercus pubescens sensu lato* заузима широку област у готово целој средњој и јужној Европи, од западне Шпаније до Балкана, Црног мора и Кавказа (слика 9). Имајући у виду широку еколошку нишу медунца, могуће је да су шуме ове врсте покривале веома широке површине дуж Европе, пре него што су уништене ради стварања обрадивих површина, винограда и маслињака (Pasta et al., 2016).

У Србији је медунац распрострањен у топлијим јужним крајевима и на јужним падинама (Kostić, 2013). Шуме медунца су заступљене у фрагментима на релативно малој површини од 10.400,00 ха. Све шуме медунца су изданачког порекла. Одликују се релативно великом густином која износи 1.207 стабала по ха. Просечна вредност основних таксационих показатеља је ниска и просечна запремина износи $87 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, а запремински прираст $2,6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Стање шума медунца по очуваности је осредње – очуване састојине обухватају 76,9%, разређене 19,3%, док девастиране састојине обухватају 3,8%. Запремина у очуваним састојинама износи $102 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, $43,4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ у разређеним, а у девастираним $5,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Величина текућег запреминског прираста у очуваним састојинама износи $3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, у ретким $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, а у девастираним састојинама $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. У погледу мешовитости, у 50% учествује у формирању чистих састојина лишћара, 42,3% у мешовитим састојинама лишћара и 7,7% у мешовитим састојинама лишћара и четинара (Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, 2008). На територији Републике Србије, медунац је сврстан у категорију ретке угрожене врсте, указујући да постоји изузетно висок ризик његовог нестајања у скорој будућности. Шуме медунца због своје реткости заслужују епитет заштићених, заштитног су карактера на специфичним стаништима које насељавају, због чега такав статус треба трајно обезбедити при планирању њиховог коришћења (Banković et al., 2008).



Слика 9. Област распрострањености и поједностављена хоролошка мапа медунаца (модификована према Pasta et al., 2016)

Медунац показује веома широк висински распон, пре свега у јужним областима Европе. Иако је чешћи на падинама између 200 и 800 m надморске висине, расте од приморских равница до 1200-1300 m. Толерантан је на различите рН вредности земљишта, али му највише одговара кречњачка подлога и добро дренирано земљиште у северном делу области распрострањености, али може бити чест и на киселим земљиштима у топлијим областима (Сицилија, Крит). Има особине хелиофилних и термофилних врста, савршено прилагођен да поднесе умерене летње суше и ниске зимске температуре, иако избегава континенталне области изложене честим мразевима и/или сушама. Пошто се медунац тешко обнавља, под интензивним и честим антропогеним утицајима (сеча, пожари, прекомерна испаша) може бити потиснут од стране отпорнијих врста. Са друге стране, може извршити и брзу колонизацију станишта ширењем семена након отклањања негативних утицаја. Шуме у којима доминира медунац су прилично честе у јужној Европи, док су у централној Европи ограничене на области са топлим микроклиматским условима. Истраживања вегетације која се тичу ових заједница спроведена су у Немачкој,

Бугарској, Чешкој, Италији, Аустрији, Словачкој, Мађарској, Грчкој и бившој Југославији (Rousakova & Tzonev, 2003; Knollová & Chytrý, 2004; Blasi et al., 2004; Roleček, 2005; Kevey & Borhidi, 2005; Willner & Grabherr, 2007; Čarni et al., 2009). Медунац се често јавља са другим листопадним дрвенастим врстама југоисточне Европе, као што су бели граб (*Carpinus orientalis* Mill.), копривић (*Celtis* spp.), црни јасен (*Fraxinus ornus* L.) и црни граб (*Ostrya carpinifolia* Scop.). Источно-западни градијент у саставу врста је забележен на Балканском полуострву, док је у Италији забележено повећање диверзитета дуж северно-јужног градијента. Поједини аутори сврставају шуме медунаца у вегетацијске заједнице на нивоу реда (*Quercetalia pubescentis*) у оквиру класе *Quercio-Fagetea* (Rivas-Martinez et al., 2001; Rivas-Martinez et al., 2002), док их други (Mucina, 1997; Rodwell et al., 2002) сматрају засебном класом (*Quercetea pubescentis*) и дају списак врста које смештају шуме медунаца у субмедитерански контекст. На медитеранским острвима, медунац се често јавља са црником (*Quercus ilex* L.) (Корзика, Сардинија и Сицилија) или са прнаром (*Quercus coccifera* L.) (Крит). Пошто су доњи вегетацијски спратови у шумама медунаца недовољно различити од оних у зимзеленим шумским заједницама, већина је укључена у класу *Quercetalia ilicis*. Са друге стране, актуелне активности праћења динамике шума указују да престанак или смањење деловања негативних фактора може омогућити медунацу да постане доминантна врста шумских заједница северног Медитерана, потискујући врсту *Quercus ilex* L., која је ограничена на плитка, више угрожена, сиромашна земљишта (Pasta et al., 2016).

Због неправилне дистрибуције влакана и искривљености стабла, дрво медунаца се ретко користи као грађа, а чешће као огрев. Данас се може користити и за столарију, изградњу бродова и амбалаже. Медунац је један од најчешћих домаћина економски важних врста тартуфа (*Tuber aestivum*, *T. macrosporum*, *T. magnatum*, *T. melanosporum*, *T. uncinatum*). Имајући у виду повећање величине прстенова услед повећања атмосферског CO₂ у току последњег столећа, сматра се да медунац може бити ефикасан у борби против ефекта стаклене баште (Pasta et al., 2016).

Неколико врста гљива које припадају роду *Phytophthora* су одговорне за смањење бројности медунаца, посебно у медитеранским земљама које су погођене јаким сушама или променама дистрибуције падавина. Медунац је подложен инфекцијама од стране *Phytophthora cinnamomi*, *P. ramorum* и поготово *P. quercina*. Такође, ову врсту храста може угрожавати и губар (*Lymantria dispar*) (Pasta et al., 2016).

Према критеријумима Међународне уније за заштиту природе, медунац је сврстан у категорију „последња брига” (*Least Concern*, LC) (Oldfield & Eastwood, 2007; Carrero et al., 2020).

1.3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ГЕНЕТИЧКЕ ВАРИЈАБИЛНОСТИ ХРАСТОВА (*QUERCUS* L.) ПРИМЕНОМ АДАПТИВНИХ И НЕУТРАЛНИХ МАРКЕРА

1.3.1. Адаптивна (морфолошка) варијабилност храстова

Варијабилност облика листа храста анализирана је од стране различитих аутора коришћењем метода геометријске морфометрије, како би се направила разлика између врста, њихових хибрида или популација исте врсте (Jansen, 1990; 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).

Први значајнији рад дали су Viscosi & Cardini, (2011), који су поставили основе поједностављеног протокола за коришћење геометријске морфометрије на листу храста. Ови аутори, као и раније Viscosi et al. (2009a, b), нису узимали симетричну компоненту у обзир, па су специфичне тачке бележили само на једној страни листа. Нешто касније, бележењем специфичних тачака на обе стране листа, Viscosi (2015) проучава симетричну и асиметричну компоненту листа. Liu et al. (2018) су проучавали облик листа код два симпатричка кинеска храста (*Quercus dentata* Thunb. и *Q. aliena* Blume) коришћењем метода геометријске морфометрије и утврдили да је ова метода класификовала индивидуе врста у складу са раније забележеним молекуларним маркерима. Proietti et al. (2021) су истраживали постојање врсте *Q. dalechampii* Ten. у Италији и њене потенцијалне карактеристике које би је одвојиле од врста *Q. petraea* (Matt.) Liebl. и *Q. pubescens* Willd., али њихова очекивања нису потврђена резултатима геометријске морфометрије. Li et al. (2021) проучавали су генетичке, географске и климатске факторе који утичу на облик листа *Q. aquifolioides* Rehder & E.H. Wilson у Кини и на Тибету, и утврдили да у мањој или већој мери постоји веза између поменутих фактора и облика листа. Su et al. (2021) су методом геометријске морфометрије истраживали пет врста рода *Quercus* L. код којих је честа хибридизација и интрогресија (*Q. dentata* Thunb., *Q. aliena* Blume, *Q. serrata* Murray, *Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb., *Q. fabrei* Hance) и утврдили да се облик листа у великој мери може користити за идентификацију врста. Akii et al. (2022) анализирали су четири симпатричка медитеранска храста (*Q. suber* L., *Q. ilex* L., *Q. canariensis* Willd., *Q. afares* Pomel) и њихове хибриде у Алжиру и показали интермедијаран облик листа врсте *Q. afares* Pomel у односу на *Q. suber* L. и *Q. canariensis* Willd., са јасним одвајањем врсте *Q. ilex* L. Abdeldjalil & Beghami (2022) дали су информације о варирању величине и облика листа код *Q. faginea* Lam. и *Q. canariensis* Willd., указујући на постојање ксероморфних облика прилагођених актуелним климатским променама.

Истраживања варијабилности листа храстова на територији Србије коришћењем метода геометријске морфометрије спровели су Jovanović et al. (2022a-c, 2023a). Jovanović et al. (2022a) проучавали су морфолошко варирање величине и облика листа код сладуна (*Q. frainetto* Ten.) који расте на различитим типовима земљишта у Шумадији и указали да нивои продуктивности земљишта утичу на обрасце варирања. Према овом истраживању, индивидуе сладуна које су расле на подлози сиромашној нутријентима имале су мање листове са израженијом режњевитошћу, у поређењу са индивидуама које су расле на земљишту богатом хранљивим материјама. Jovanović et al. (2022b) проучавали су и морфометријске карактеристике листова сладуна (*Q. frainetto* Ten.) и цара (*Q. cerris* L.) на територији Шумадије и показали да је цар имао више нивое варијабилности у поређењу са сладуном. Обрасци варирања листа између ове две врсте су се значајно разликовали,

сугеришући да различити фактори утичу на унутарврсну варијабилност. Jovanović et al. (2022c) су демонстрирали примену метода геометријске морфометрије на примеру две врсте храста из региона Шумадије – китњака (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) и лужњака (*Q. robur* L.) и показали значајне разлике између ове две врсте. Jovanović et al. (2023a) су, такође, проучавали ефекте типа земљишта, експозиције и надморске висине на морфометријске карактеристике листа цера (*Q. cerris* L.) са територије Шумадије. Ови аутори показали су да су индивидуе цера које су расле на подлогама сиромашним нутријентима имале мање листове и високе вредности флукутирајуће асиметрије у поређењу са индивидуама које су расле на подлогама богатим нутријентима. Такође, ово истраживање показало је да су индивидуе са виших надморских висина имале мање листове, док су оне са северних експозиција и нижих надморских висина имале веће листове.

На основу наведених истраживања, може се закључити да је геометријска морфометрија примењена на листу храста поуздана метода која често може дати увид у сложене обрасце варирања између популација, врста или виших таксономских категорија.

1.3.2. Неутрална (молекуларна) варијабилност храстова

Бројни аутори су проучавали генетички диверзитет храстова коришћењем молекуларних маркера, при чему се истраживања интензивирају последњих година. Само у Европи публикувано је десетине радова који се тичу генетичког диверзитета храстова (нпр. 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). Истраживања популација храстова у Европи тичала су се како међупопулационе диференцијације, тако и међуврсне, а посебна пажња посвећена је хибридима.

На пример, Samuel et al. (1995) су истраживали алозимско варирање локуса код популација *Quercus cerris* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. petraea* (Matt.) Liebl. и *Q. robur* L. у источној Аустрији и показали да се степен генетичке диференцијације између ових врста показао ниским, односно у опсегу уобичајено опсервираном код конспецифичних популација, са могућношћу хибридизације и интрогресије. Нешто касније, Gömöry et al. (2001) су проучавали генетичку структуру 25 популација врста *Q. petraea* (Matt.) Liebl. и *Q. robur* L. из Словачке, Бугарске и Русије коришћењем изозимских маркера и указали на специфичне обрасце диференцијације. Kelleher et al. (2005) су истраживали популације *Q. petraea* (Matt.) Liebl. и *Q. robur* L. коришћењем морфолошких и молекуларних AFLP анализа (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) у покушају да опишу разлике између врста у Ирској. Резултати истраживања ових аутора су показали да је неутрално молекуларно варирање више подељено између популација него између врста. Belletti et al. (2005) су проучавали алозимско варирање методом електрофорезе код *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Q. robur* L., *Q. cerris* L. и *Q. pubescens* Willd. у области Пијемонт у Италији. Већина генетичке варијабилности је детектована на нивоу популације, а истраживање је потврдило низак ниво варијабилности између истраживаних врста.

У новијим студијама, нуклеарни микросателитни маркери (nSSRs), коришћени су у истраживању хибридизације (Burgarella et al., 2009; Viscosi et al., 2009b; Ortego & Bonal, 2010; Penaloza-Ramirez et al., 2010) и генетичке структуре популација (Neophytou et al., 2010). Soto et al. (2003) показали су да је трансфер сета нуклеарних микросателитних маркера од *Quercus macrocarpa* Michx. и *Q. petraea* (Matt.) Liebl. на *Q. ilex* L. и *Q. suber* L.

користан за генетичка истраживања ових врста, као и за идентификовање хибрида *Q. ilex* L. и *Q. suber* L. Gugerli et al. (2007) су истраживали појаву просторних дисконтинуитета коришћењем нуклеарних микросателита код *Q. petraea* (Matt.) Liebl. и *Q. robur* L. у мешовитим шумама и утврдили да су ово два одвојена таксона која деле заједничког претка, али између којих долази до повремене хибридизације. Rellstab et al. (2016) су анализирали морфологију листа у комбинацији са нуклеарним микросателитним маркерима за идентификацију таксономског статуса код три хибридујуће врсте храста у Европи (*Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. pubescens* Willd., *Q. robur* L.), и закључили да док се *Q. robur* L. јасно одваја од друга два таксона, постоји извесно преклапање између *Q. petraea* (Matt.) Liebl. и *Q. pubescens* Willd. Franjić et al. (2006) су проучавали морфолошку и молекуларну диференцијацију популација *Quercus pubescens* Willd. у Хрватској и показали диференцијацију на јужну (медитеранску) и северну (континенталну) групу. Pospíšková & Dostálek (2009) су проучавали утицај газдовања шумама на генетички диверзитет код популација *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. у заштићеној области Кривокалтско у Чешкој коришћењем микросателитних маркера и указали да су разлике између популација у просечном броју алела по локусу веома мале. Curtu et al. (2011) су проучавали генетичку диференцијацију између *Q. frainetto* Ten. и *Q. pubescens* Willd. у Румунији коришћењем високо полиморфних нуклеарних маркера. Ови аутори су показали да је генетичка удаљеност знатно мања између популација него између врста, као и да постоје различите стопе хибридизације и интрогресије. Özer (2014) је проучавао генетички диверзитет анализом полиморфизма микросателитних локуса популација *Q. cerris* L. узоркованих дуж природне области распрострањености и показао различите нивое генетичког диверзитета међу популацијама. Antonecchia et al. (2015) су проучавали генетичку структуру природних заједница храста у централној Италији (*Q. frainetto* Ten., *Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. pubescens* Willd.) помоћу микросателитних маркера. Значајне разлике и већи ниво протока гена је уочен између анализираних врста, са израженим присуством хибрида. Vagnoli et al. (2016) су покушали да „попуне празнину” у тренутном разумевању улоге глацијалног рефугијума источног Медитерана и њихових веза са другим рефугијумима дуж Европе, проучавајући дистрибуцију генетичког диверзитета и генетичку структуру савремених популација *Quercus cerris* L. у вези са кватерном демографском историјом и старијим догађајима. Ови аутори су закључили да је подела популација у две групе – са Апенинског и Балканског полуострва, вероватно, изазвана популационим констрикцијама током глацијалне фазе средњег плеистоцена. Jurkšienė et al. (2020) су проучавали предачко-потомачку генетичку структуру код *Q. robur* L. и *Q. petraea* (Matt.) Liebl. и њихових хибрида у Литванији, коришћењем нуклеарних микросателитних и RAPD (*Random Amplified Polymorphic DNA*) маркера. Ово истраживање је показало да је ниво генетичког варирања и подела био нижи код хибридних група, док је генотипска анализа потомака показала асиметричну природу међуврсне хибридизације између ове две врсте у мешовитим састојинама. Di Pietro et al. (2020) извршили су прелиминарну карактеризацију *Quercus pubescens* Willd. комплекса у јужној Италији коришћењем полиморфних микросателитних молекуларних маркера, а њихови резултати нису указали на могућност коегзистенције више од једне врсте међу индивидуама *Q. pubescens* Willd. у датом региону.

Истраживања генетичке варијабилности хрastoва на територији Србије вршили су бројни аутори. Milovanović (2009) и Šijačić-Nikolić et al. (2009) су, на пример, проучавали еколошко-генетичке основе храста китњака (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) коришћењем

хлоропласне ДНК и показали да је хлоропласни геном високо информативан, детектујући пет хаплотипова у анализираном узорку. Нешто касније, Ballian et al. (2010) су анализирали храст медунац (*Q. pubescens* Willd.) коришћењем хлоропласне ДНК у западном делу Балканског полуострва, укључујући и Србију, и показали постојање шест хаплотипова, указујући на високу генетичку варијабилност медунца. Neophytou et al. (2010) су, такође, укључили узорке из Србије приликом истраживања генетичке диференцијације китњака (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) и лужњака (*Q. robur* L.) коришћењем нуклеарних микросателитних маркера. Ови аутори су указали на постојање заједничког обрасца генетичког варирања ове две врсте повезаног са географским регионима. Касније, Kesić et al. (2021) проучавали су генетички диверзитет и генетичку структуру лужњака (*Q. robur* L.) у Србији коришћењем нуклеарних микросателитних маркера и показали постојање два генска пула која нису била повезана са географском дистрибуцијом анализираних популација. Šijačić-Nikolić et al. (2021) проучавали су генетичку диференцијацију различитих врста храстова (*Q. robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. frainetto* Ten., *Q. pubescens* Willd.) на територији Специјалног резервата природе „Шума Кошутњак” у Београду у Србији, коришћењем нуклеарних микросателитних маркера. Ови аутори су указали на значај *in situ* очувања генетичких ресурса у овој области и предложили смернице за генетичку конзервацију анализираних врста. Popović et al. (2022) проучавали су генетичку структуру китњака (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) са подручја Предела изузетних одлика „Авала” у Србији, коришћењем нуклеарних микросателитних маркера и предложили смернице за очување генофонда ове врсте.

Сходно наведеним истраживањима, уочљиво је да су молекуларни маркери један од најзначајнијих извора информација о генетичкој варијабилности храстова.

2. ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања ове докторске дисертације су четири врсте храстова (*Quercus* L.) на подручју ПИО „Космај”, чија је адаптивна варијабилност анализирана применом метода геометријске морфометрије на листу, а неутрална варијабилност применом молекуларних маркера.

Спровођење истраживања на широко распрострањеним врстама храста, са високим потенцијалом адаптивне еволуције и великом варијабилношћу морфологије, на прецизно дефинисаној површини ПИО „Космај”, омогућава јасније сагледавање утицаја локалних услова станишта, стања животне средине, газдовања популацијама и историјских процеса на генетичку варијабилност.

Значајан диверзитет шумске вегетације на Космају, као и специфичне геолошке, педолошке и орографске карактеристике, чине ово подручје веома повољним за истраживање унутар- и међуврсне варијабилности храстова, односно за упоредну анализу генетичких карактеристика храстова на релативно малој површини, због чега се подаци о варијабилности могу интерпретирати у складу са локалним условима станишта, али и инкорпорирати у ширу слику варијабилности храста на територији Европе.

Генетички диверзитет је кључни ресурс за опстанак врста током промена у спољашњој средини. Конзервација и одрживо коришћење генетичких ресурса захтева разумевање дистрибуције и степена генетичког диверзитета (*in situ* и *ex situ*) код већег броја врста. Идентификација и квантификовање фактора који утичу на генетички диверзитет, у *in situ* и *ex situ* условима, је посебно важна за представнике рода *Quercus* L. У том смислу, карактеризација корелација генетичког диверзитета код добро проучених врста храстова може служити као основа за предиктивне моделе дистрибуције генетичког диверзитета (Suzuki Spence et al., 2021). Обрасци дистрибуције генетичке варијабилности рефлектују одговоре врста на еволуционе притиске који делују у тренутним или претходним срединама и могу дати информацију о томе на који начин су врсте еволуирале и како ће наставити да еволуирају у будућности. Већина истраживања образаца генетичког варирања код дрвенастих врста углавном је било подстакнуто покушајима да се повећа разумевање биодиверзитета на унутарврсној нивоу или еволуционе динамике у оквиру врста биљака током ране фазе доместификације. Међутим, шумско дрвеће поседује бројне вредне аспекте које треба истражити, што може бити одрађено коришћењем морфолошких и молекуларних маркера у комбинацији са одговарајућим статистичким анализама, како би се дале препоруке за конзервацију шумских генетичких ресурса (Barrandeguy & Garcia, 2016).

Циљ истраживања докторске дисертације је карактеризација еколошког и конзервационог статуса четири врсте храста (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. – китњак, *Q. pubescens* Willd. – медунац, *Q. frainetto* Ten. – сладун, *Q. cerris* L. – цер) на подручју ПИО „Космај” и дефинисање конкретних мера конзервације, као и еколошких и конзервационих принципа газдовања популацијама храстова. Имајући у виду негативне факторе који делују на подручју ПИО „Космај”, али и позитиван ефекат шумског комплекса овог подручја на стање животне средине, као и вредности друштвене, еколошке и финансијске функције шума подручја планине Космај, повезивање морфологије, генетике и науке о заштити животне средине један је од циљева ове докторске

дисертације, ради дефинисања смерница за мониторинг, конзервацију и одрживо коришћење популација храстова.

Применом адаптивних и неутралних маркера у анализи храстова на подручју ПИО „Космај” добијени су резултати чији **научни допринос** омогућава боље познавање варијабилности храстова на анализираном подручју. Познавање варијабилности храстова омогућава поређење добијених резултата са подацима публикованим за територију Европе и шире, ради утврђивања општих образаца варијабилности. Пошто је генетички диверзитет често коришћени показатељ у одређивању таксономског статуса врста, добијени резултати омогућавају боље познавање таксономије храстова на подручју ПИО „Космај”. Добијени резултати доприносе познавању веза између морфометријских и генетичких карактеристика, као одговор на утицај локалних услова средине и историјских процеса. Допринос овог истраживања огледа се, првенствено, у стварању основа за очување популација храстова на истраживаном подручју.

Општа хипотеза докторске дисертације гласи:

„Степен међу- и унутарврсне генетичке варијабилности храстова на подручју ПИО „Космај” може бити резултат утицаја генотипа, локалних услова станишта, стања животне средине, начина газдовања популацијама и историјских процеса кроз које су истраживане популације прошле”.

Утицај локалних услова станишта и начини газдовања популацијама дрвенстих врста у великој мери могу утицати на њихов фенотип. Међутим, и након сагледавања постојећих разлика, веома је тешко интерпретирати их, због утицаја читавог спектра потенцијалних фактора на варијабилност. Проучавање адаптивне и неутралне варијабилности на међу- и унутарврсном нивоу може представљати корак ближе расветљавању овог проблема, посебно код широко распрострањених врста, као што су врсте из рода храстова (*Quercus L.*).

Општа хипотеза је обрађена помоћу **неколико посебних хипотеза**:

- 1) адаптивна варијабилност храстова на подручју ПИО „Космај” повезана је са карактеристикама станишта, које, поред тога што диктирају распоред вегетације на истраживаном подручју, утичу и на диверзитет у свакој од одабраних популација;
- 2) постоји усклађеност резултата добијених применом адаптивних и неутралних генетичких маркера;
- 3) генетичка варијабилност храстова на подручју ПИО „Космај” повезана је са стањем животне средине и начинима газдовања популацијама храстова;
- 4) постоји усклађеност добијених резултата са публикованим подацима о генетичкој варијабилности храстова.

3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

3.1. ОПИС ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА

Космај је планина вулканског порекла, ниска и релативно мале површине, смештена на око 40 km јужно од Београда, између 44°29'46" и 44°25'26" северне географске ширине и 20°31'48" и 20°37'33" источне географске дужине (Sredojević et al., 2011; Stajić, 2016; Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020). Године 2005. природно добро „Космај” стављено је под заштиту као предео изузетних одлика („Службени лист града Београда”, бр. 29/2005).

3.1.1. Рељеф

Смештен у близини Београда, Младеновца и Сопота, са 626 m надморске висине, Космај спада у ниже планине у Републици Србији (у Шумадији је од Космаја нижа само Авала). Космај је скоро у потпуности уравниан и представља површ у коју су урезане речне долине, а тиме је јединствена површ рашчлањена у заравњене косе и побрђа (Sredojević et al., 2011). Главни масив Космаја је полумесечастог облика, са правцем пружања југозапад-североисток, састављен од више делова – Ковијана (368 m надморске висине), Лупоглав (462 m надморске висине), Велики Космај (626 m надморске висине), Мали Космај (546 m надморске висине, врх Бели камен) и Кошутица (463 m надморске висине). Најизразитији превоји између поменутих морфолошких целина су Седлар (403 m надморске висине, између Лупоглава и Великог Космаја) и Равнине (515 m надморске висине, између Великог и Малог Космаја). Долински облици на Космају настали су под утицајем водотокова Великог Луга, Турије и Бељанице и имају клисураст облик (формиране на стрмим падинама) и коритасти облик (на нижим деловима) (Stajić, 2016).

3.1.2. Геолошка подлога

Космај је изоловани острвски масив кредног флиша и кречњака, са пробојима серпентинита и гранитоида, веома израседан и окружен неогеним седиментима (Sredojević et al., 2011). Космај се на северу, преко побрђа Баба и Парцана, везује за масив Авале. Управо се у овом северном делу Космаја налази мезозојско кредни литолошки комплекс који представља јужни огранак Парцанског Виса (Stajić, 2016; Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020). Флишне творевине које изграђују највећи део Космаја представљене су низом разно бојадисаних, чврстих, лепо стратификованих лапораца, бреча, бречастих танкопличастих кречњака и разнобојних пешчара. На југоисточној страни Космаја присутни су серпентинити на површини терена (Stajić, 2016). Сматра се да је серпентинска подлога одговорна за релативно мали број врста у флори Космаја у поређењу са другим матичним супстратима (Obratov-Petković et al., 2004). Сумарно посматрано, заступљеност геолошке подлоге на простру Космаја је следећа: 74,4% чини флиш (песковити лапорци, пешчари и кречњаци), 9,5% чине пескови, песковите глине и пешчари, 6,6% чини грубокластична серија (конгломерати Пресеке), 4,4% чине сиви и румени песковити

кречњаци, 2,9% чини делувијум, 1,3% чине серпентини, 0,6% чини алувијум, 0,5% чине лампрофири а 0,1% чине аплити (Sredojev et al., 2011).

Такође, на југозападним падинама Космаја откривено је и присуство гранитног камена (Гајић & Vasković, 2003). Гранитоидни плутон Космаја је слабо откривен у потоку Радовац у атару села Рогача, утиснут у седименте горњекредног флиша (глинци, лапорци, пешчари и кречњаци), који су при томе интензивно контактано метаморфисани (Kurešević, 2013).

Примарни морфолошки рељеф области Београда настао је као резултат тектонских покрета који су се одвијали током палеогена и раног неогена. Током олигоцена и миоцена, неколико хорстова (структурних облика насталих релативним спуштањем периферних блокова у односу на централни блок) – Авала и Космај, и велики тектонски басен – Панонска низија су се формирали, као и мале тектонске депресије јужно од Панонске низије. Турбулентна тектонска активност била је праћена вулканском активношћу, која је трајала до краја миоцена. Магматске стене које датирају из овог периода уочљиве су на Космају и Авали. Управо су на Космају и Авали забележене високе вредности геодиверзитета (природних добара са наглашеним геолошким, геоморфолошким, хидролошким, педолошким и археолошким обележјем), указујући да ове области имају висок потенцијал геоконзервације (Пић et al., 2016).

3.1.3. Педолошка подлога

На Космају се, осим серпентинитске подлоге, јављају и флишне творевине, пешчари и друге творевине, а у складу са тим и различити типови земљишта (Obratov-Petković et al., 2004). Овде се јављају аутоморфна (терестрична) земљишта, образована под утицајем атмосферских вода. Главни типови педолошког супстрата су гајњаче и смеђе шумско земљиште, углавном средње дубока (од 40 до 80 cm), свежа и слабоскелетна. На појединим деловима терена, као што је Кошутица, педолошки покривач је јако танак (Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020). Педолошка истраживања се интензивирају на подручју Космаја током последњих деценија. На пример, проучавања земљишта на Космају као месту узорковања су омогућила формирање теоријских поставки о начинима класификације земљишта на основу садржаја радионуклеотида коришћењем спектрометрије гама зрака (Dragović & Onjia, 2006, 2007). Sredojev et al. (2011) су истраживали педолошки покривач на простору Космаја и утврдили да 42,4% чини смеђе скелетоидно кисело земљиште на граниту, 34,9% чини гајњача, 14,5% чини гајњача у лесивирању, 6,5% чини лесивирана гајњача, док 1,7% чини еродирана смоница. Према истраживањима које је спровела Stajić (2016), у шумским екосистемима Космаја забележено је више класа земљишта – класа неразвијених земљишта са грађом профила (А)-С или (А)-R (колувијално (делувијално) земљиште), класа хумусно-акумулативних земљишта са грађом профила А-С или А-R (рендзина на лапоровитим кречњацима, хумусно-силикатно земљиште (ранкер)), класа камбичних земљишта са грађом профила А-(В)-С или А-(В)-R (еутрично смеђе земљиште (еутрични камбисол), кисело смеђе земљиште (дистрични камбисол), смеђе земљиште на кречњаку (калкокамбисол)) и класа елувијално-илувијалних земљишта (илимеризовано земљиште (лувисол)).

3.1.4. Хидрологија

Површинске воде на територији планине Космај припадају сливовима Јасенице и Колубаре. Сливу Колубаре припада 41% површинских вода, а најзначајније су Турија (са изворишним крацима Велике и Мале Тресије и притокама Мешатин и Дрлупска река) и Стојничка река (десна притока Бељанице), која се у горњем делу назива Дучинска река са потоком Мелнице и Губеревачком реком. Сливу Јасенице припада 59% површинских вода, а најзначајнија је Велики Луг и њене притоке Сленичарски поток, Бесна река, потоци Алинац, Турчић, Драганић, Грабовац, Вуковац, Трнава, Кастељан и Селиште (Stajić, 2016; Plan upravljanja РИО „Kosmaj”, 2020). Велики Луг извире у близини села Бабе под Космајем на 275 m надморске висине, а његово сливно подручје чине источне падине Космаја и део шумедијских брда (Nikolić et al., 2015). На Парцанском Вису на Космају, спајањем више потока са Парцанског Виса и дела потока који се сливају са Космаја, настаје река Раља, на 426 m надморске висине (Ђековић et al., 2016). Подземне воде се јављају у оквиру разних типова издани у кречњацима који се празне преко бројних извора: Змајевац, Кораћица, Оровац, Врело, Ђаконовац и други (Plan upravljanja РИО „Kosmaj”, 2020). Већина извора је каптирана за потребе снабдевања водом, док је неколико уређено у виду јавних чесми (Sredojević et al., 2011). У југоисточном подножју Космаја, у Кораћици, јавља се минерална вода, што је условило формирање Кораћичке бање.

3.1.5. Клима

Подручје Космаја налази се у зони умерено-континенталне климе. Просечна годишња температура износи 12,3°C. Најхладнији месец је јануар (0,9°C), а најтоплији јул (22,4°C). Просечна годишња количина падавина износи 395 mm, са највише падавина током лета, а најмање током зиме (Stajić, 2016). Највеће количине падавина јавља се у јуну (а затим у мају и јулу, са продужетком и на август). Секундарни максимум се јавља у децембру и по вредностима је сличан нивоу падавина у августу. Најмања количина падавина јавља се у октобру, док је секундарни минимум у фебруару. Поменута расподела падавина карактеристична је за типичне континенталне варијанте плувиометријског режима (Sredojević et al., 2011). Максимум облачности је у периоду од новембра до фебруара, а минимум у периоду од јула до септембра. Највеће вредности инсолације јављају се лети (јул, август) а најмање зими (јануар, децембар). На Космају се формира ружа ветрова, јер се овде спајају ваздушне струје са Медитерана и Карпата. У току године, северозападни и западни ветрови имају равномерну дистрибуцију, а кошава је специфична за рано пролеће, зиму и касну јесен.

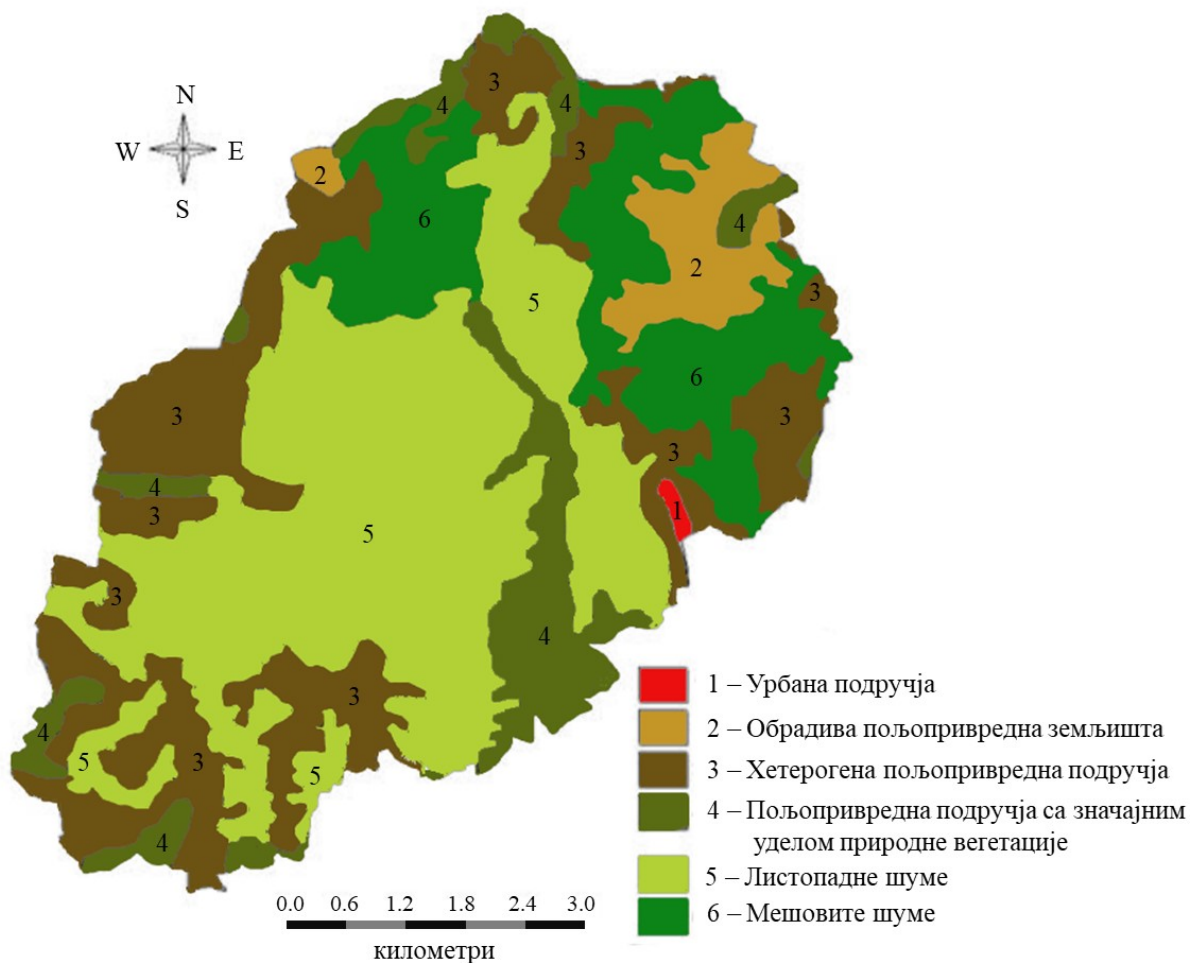
3.1.6. Флора и вегетација

Флору Космаја истраживао је релативно мали број аутора. Прве податке дао је Рапчић (1874) у „Додатку Флори Кнежевине Србије”, где наводи да се Космај одликује присуством серпентинита и одговарајућом серпентинском флором. Шумске и ливадске заједнице Космаја, као и детаљнији опис флоре Космаја дао је Гајић (1954, 1962). Допринос знању односа земљишта и биљака на Космају дала је група аутора почетком 21. века (Kadović et al., 2003; Obratov-Petković et al., 2004), док је детаљан опис шумских фитоценоза Космаја дала Stajić (2016). Карактеристичан геолошки састав, надморска

висина до 630 m, као и историјски развој флоре и вегетације значајно су утицали на флористички и вегетацијски диверзитет Космаја (Sredojev et al., 2011).

Космај спада у балканску флористичку провинцију (средњеевропски регион). Више од 70% територије ове планине налази се под шумском вегетацијом, првенствено под изданачним храстовим и буковим састојинама, али и оним вештачки подигнутим (слика 10) (Stajić, 2016). Од укупне површине под шумом, 79,32% чине изданачке шуме, док је удео шума са високим лишћарима свега 1,96% (Veselinović et al., 2012). Оранице, воћњаци и ливаде преовлађују у подножју планине на територији села Рогач, Неменикуће, Амерић, Кораћица и Велика Иванча (Filipović et al., 2013). Флора Космаја обухвата 557 биљних врста, сврстаних у 298 родова и 74 породице. У флори Космаја издваја се 30 реликтних и десет субендемичних врста, од којих пет припада строго заштићеним и заштићеним врстама: ресасти лук (*Allium paniculatum* L.), зановет (*Laburnum anagyroides* Medik.), златни љиљан (*Lilium martagon* L.), шиљореп (*Limodorum abortivum* (L.) Sw.) и црвени кађун (*Orchis purpurea* Hudson), једна врста са Светске Црвене листе – жаворњак (*Delphinium fissum* Waldst. et Kit.), као и 25 врста које спадају у неку категорију угрожености (Plan управљања ПИО „Космај”, 2020). Дистрибуција лековитих врста биљака на Космају је веома неуједначена, под дејством деградираности шумских и ливадских екосистема и карактеристика подлоге, које значајно утичу на структуру и бројност биљних врста. Неке од лековитих биљака забележених на Космају су талац (*Calamintha vulgaris* L.), кичица (*Centaureum umbellatum* Gillib.), хајдучка трава (*Achillea millefolium* L.), пољска метвица (*Mentha arvensis* L.), обична мајчина душица (*Thymus pulegioides* L.), кантарион (*Hypericum perforatum* L.), ивањско цвеће (*Galium verum* Scop.), цикорија (*Cichorium intybus* L.), вранилова трава (*Origanum vulgare* L.), подубица (*Teucrium chamaedrys* L.), дивљи пелин (*Artemisia vulgaris* L.), велики чистац (*Stachys recta* L.), прстенак (*Anthemis austriaca* Jacq.), среммуш (*Allium ursinum* L.) и друге (Obratov-Petković et al., 2004; Pavlović et al., 2010; Gordanić et al., 2021).

Вегетација Космаја обухвата четири основне шумске заједнице: *Quercetum frainetto-cerris* (климазонална заједница сладуна и цера), *Quercetum cerris* (церове шуме), *Quercus-Carpinetum serbicum* (заједница цера и граба) и *Fagetum montanum* (брдске шуме букве). На нижим надморским висинама Космаја јављају се зељасте типови вегетације специфични по присуству ксеромезофилних пашњака и ксерофилних брдских ливада. Доминантне су три зељасте биљне заједнице (*Festucetum valesiacaе*, *Chrysopogonetum grylli* и *Cynosuretum cristati*) (Plan управљања ПИО „Космај”, 2020). На локалитету Седлар на Космају описана је деградациона фаза заједнице *Festucetum valesiacaе*, са доминантном купинком (*Rubus hirtus* Waldst. et Kit.), док је на локалитету Бели камен такође заступљена деградациона фаза ове заједнице, али са доминантном меком медуником (*Holcus mollis* L.) (Kadović et al., 2003).



Слика 10. Карта вегетације Космаја (модификована према Sredojev et al. 2011)

Према истраживањима које је спровела Stajić (2016), шумска вегетација Космаја спада у термофилне листопадне шуме (разред: *Quercus-Fagetum* Br.-Bl. et Vlieger 1937). Ред ксеро-термофилних шума (*Quercetalia pubescentis* J.Br.-Bl. & G. Br.-Bl. 1931.) обухвата две свезе – шуме сладуна (свеза *Quercion farnetto* Ht 1954.) и шуме китњака и цера (свеза *Quercion petraeae-cerridis* (R. Lakušić 76) R. Lakušić & V. Jovanović 1980.). Шуме сладуна представљене су једном асоцијацијом – шума сладуна и цера (*Quercetum frainetto-cerridis* Rudski 1949), а шуме китњака и цера двама асоцијацијама – шума цера са црним јасеном (*Fraxino ornis-Quercetum cerridis* Stefanović 1968.) и шума китњака и цера (*Quercetum petraeae-cerridis* V. Jovanović 1979. s.l.). Ред мезофилних шума (*Fagetalia sylvatica* Pawlowski in Pawlowski et al. 1928) обухвата две свезе – мезофилне шуме граба (свеза *Carpinion betuli* Oberdorfer 1957 emend Weinert 1968.) и мезијске шуме букве (свеза *Fagion moesiaca* Blečić & Lakušić 1976.). Мезофилне шуме граба представљене су једном асоцијацијом – шума китњака и граба (*Quercus petraeae-Carpinetum betuli* Rudski 1949. s.l.), а мезијске шуме букве двама асоцијацијама – брдска шума букве (*Helleboro odori-Fagetum moesiaca* Soo & Borhidi 1960.) и мешовита шума букве и китњака (*Quercus petraeae-Fagetum moesiaca* Glišić 1971.).

3.1.6.1. *Заједница сладуна и цера (Quercetum frainetto-cerridis Rudski 1949.)*

Заједница сладуна и цера широко је распрострањена на Космају, углавном на нижим деловима, мањим нагибима и топлијим експозицијама. Обухвата четири субасоцијације:

- 1) субасоцијација *typicum* (у нижим пределима, на дубљим и свежијим земљиштима),
- 2) субасоцијација *aculeatetosum* (на Малом Космају, карактеристично је присуство оштролисне кострике – *Ruscus aculeatus* L.),
- 3) субасоцијација са китњаком *quercetosum petraeae* (на стрмим теренима и већој надморској висини),
- 4) субасоцијација *pubescentosum* (шума сладуна и цера са медунцем, најтермофилнија, јавља се искључиво на топлијој базичној подлози) (Stajić, 2016).

Анализом утицаја орографских фактора, као што су надморска висина, експозиција и нагиб терена, показано је да шуме сладуна и цера имају најширу еколошку амплитуду. Највише су распрострањене у појасу од 401 до 500 m надморске висине. У највишем висинском појасу их је знатно мање, а појављују се на топлим југоисточним експозицијама (Obratov-Petković et al. 2004; Stajić et al. 2019). У спрату дрвећа преовлађују едификатори цер (*Quercus cerris* L.) и сладун (*Q. frainetto* Ten.), а као субедификатори у појединим деловима јављају се китњак (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) (на вишим деловима) и медунац (*Q. pubescens* Willd.) (искључиво на кречњаку). Детаљан флористички састав заједнице сладуна и цера приказан је у прилогу 1.

3.1.6.2. *Заједница цера са црним јасеном (Fraxino orni-Quercetum cerridis Stefanović 1968.)*

Заједница цера са црним јасеном на Космају распрострањена је на мањим површинама, првенствено на јужним падинама Великог Космаја, али и фрагментарно на Малом Космају. Заузима висинске појасеве од 454 до 560 m надморске висине и претежно топлије експозиције. Јавља се искључиво на силикатној подлози (Stajić, 2016). У спрату дрвећа преовлађују едификатори црни јасен (*Fraxinus ornus* L.) и цер (*Quercus cerris* L.) (Stajić et al., 2021). Детаљан флористички састав заједнице цера са црним јасеном приказан је у прилогу 2.

3.1.6.3. *Заједница китњака и цера (Quercetum petraeae-cerridis B. Jovanović 1979. s.l.)*

Заједница китњака и цера се на подручју Космаја одликује широком еколошком амплитудом, односно присутна је у широком опсегу надморских висина, од 348 до 573 m (према Stajić et al. (2019) најзаступљенија је од 401 до 500 m), као и на различитим експозицијама (чешће на топлијим). Највише шума китњака и цера налази се на падинама Великог Космаја. Ове шуме алтернирају са шумама сладуна и цера и претходе буково-китњаковим и буковим шумама. Обухвата две субасоцијације:

- 1) субасоцијација *typicum* (флористички богата),

2) субасоцијација *caricetosum silvaticae* (мезофилнија, на хладнијим експозицијама и дубљим еутричним земљиштима, са карактеристичном врстом *Carex sylvatica* Huds.) (Stajić, 2016).

У спрату дрвећа преовлађују едификатори китњак (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) и цер (*Quercus cerris* L.) (Stajić et al., 2021). Детаљан флористички састав заједнице китњака и цера приказан је у прилогу 3.

3.1.6.4. Заједница китњака и граба (*Quercus petraeae-Carpinetum betuli Rudski 1949. s.l.*)

Заједница китњака и граба је заступљена фрагментарно на Малом Космају, на надморској висини од 339 до 410 m, од источне до североисточне експозиције. Развија се на флишу као геолошкој подлози и илимеризованим земљиштима. Обухвата субасоцијацију *aculeatetosum*, која је специфична по присуству оштролисне кострике (*Ruscus aculeatus* L.) (Stajić, 2016). У спрату дрвећа преовлађују едификатори китњак (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) и граб (*Carpinus betulus* L.) (Stajić et al., 2020). Детаљан флористички састав заједнице китњака и граба приказан је у прилогу 4.

3.1.6.5. Заједница брдске букве (*Helleboro odori-Fagetum moesiacaе Soo & Borhidi 1960*)

Заједница брдске букве се на Космају јавља на надморским висинама од 300 до 600 m, са највише чистих састојина на надморским висинама од 401 до 500 m. Мањи број чистих састојина налази се на нижим надморским висинама (Stajić, 2016). У спрату дрвећа преовлађује буква (*Fagus moesiaca* (Maly) Domin.) (Obratov-Petković et al. 2004). Детаљан флористички састав заједнице брдске букве приказан је у прилогу 5.

3.1.6.6. Мешовите заједнице букве и китњака (*Quercus petraeae-Fagetum moesiacaе Glišić 1971.*)

Мешовите заједнице букве и китњака се на подручју Космаја јављају између заједница брдске букве и заједнице китњака и цера (или само цера), а у неким деловима се спуштају ниже, надовезујући се на заједницу сладуна и цера (Stajić, 2016). Најзаступљеније су на надморским висинама од 501 до 600 m (Stajić et al. 2019). На Космају, мешовита заједница букве и китњака се јавља на флишу, на заклоњеним експозицијама. Обухвата две субасоцијације:

1) субасоцијација *typicum* (најчешће заступљена),

2) субасоцијација *caricetosum pilosae* (карактеристична по присуству трепљасте оштрике – *Carex pilosa* Scop.) (Stajić, 2016).

У спрату дрвећа преовлађују едификатори китњак (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) и буква (*Fagus moesiaca* (Maly) Domin.) (Stajić et al., 2021). Детаљан флористички састав заједнице букве и китњака приказан је у прилогу 6.

Са повећањем надморске висине, близу границе свог висинског распрострањења, храстови све више заузимају станишта са топлијим комбинацијама експозиције и нагиба терена. Китњак, као мезофилнија врста од цера, у састојинама где се налазе заједно, се на

мањим надморским висинама јавља на стаништима која су хладнија од церових (а самим тим и сладуна и цера), али највише домете свог висинског распрострањења достиже на најтоплијим комбинацијама експозиције и нагиба (Stajić, 2016).

3.1.6.7. Вештачки подигнуте састојине

Иако је преко 70% површине планине Космај под шумском вегетацијом у којој доминирају изданачке храстове и букове састојине, јављају се и вештачки подигнуте, углавном четинарске шуме, претежно на станишту сладуна, цера и букве (Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020).

На подручју Космаја, **вештачки подигнуте састојине на станишту сладуна и цера (*Quercetum frainetto-cerridis* Rudski 1949.)** су:

- 1) вештачки подигнута састојина смрче (*Picea abies* (L.) Karst), атласког кедра (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) и дуглазије (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco),
- 2) вештачки подигнута састојина дуглазије (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco),
- 3) вештачки подигнута састојина црног бора (*Pinus nigra* Arnold),
- 4) вештачки подигнута састојина црног бора (*Pinus nigra* Arnold) и белог бора (*Pinus sylvestris* L.) са лужњаком (*Quercus robur* L.) (Stajić, 2016).

Детаљан флористички састав ових састојина приказан је у прилогу 7.

На станишту китњака и цера (*Quercetum petraeae-cerridis* V. Jovanović 1979. s.l.) вештачки подигнуте састојине су:

- 1) вештачки подигнута састојина пенсилванијског јасена (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.),
- 2) вештачки подигнута састојина багрема (*Robinia pseudoacacia* L.),
- 3) вештачки подигнута састојина лужњака (*Quercus robur* L.), цера (*Quercus cerris* L.) и црног бора (*Pinus nigra* Arnold),
- 4) вештачки подигнута састојина црног бора (*Pinus nigra* Arnold),
- 5) вештачки подигнута састојина дуглазије (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco),
- 6) вештачки подигнута састојина кедра (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière),
- 7) вештачки подигнута састојина кедра (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) и кавкаске јеле (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach) (Stajić, 2016).

Детаљан флористички састав ових састојина приказан је у прилогу 8.

Вештачки подигнуте састојине на станишту брдске букве (*Helleboro odori-Fagetum moesiacaе* Soo & Borhidi 1960.) су:

- 1) вештачки подигнута састојина смрче (*Picea abies* (L.) Karst),
- 2) вештачки подигнута састојина ораха (*Juglans regia* L.) (Stajić, 2016).

Детаљан флористички састав ових састојина приказан је у прилогу 9.

Вештачки подигнуте састојине на станишту букве и китњака (*Quercus petraeae-Fagetum moesiacaе* Glišić 1971.) су:

- 1) вештачки подигнута састојина лужњака (*Quercus robur* L.),
- 2) вештачки подигнута састојина дуглазије (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) (Stajić, 2016).

Детаљан флористички састав ових састојина приказан је у прилогу 10.

3.1.7. Фауна

Фауна Космаја је веома богата. Ентомофауну (фауну инсеката) проучавао је релативно мали број аутора (на пример Marković & Stojanović 2015; Ćurčić et al., 2019; Protić, 2020), али је утврђено постојање осам балканских ендемита, пет ендемита Србије, укључујући и једну стеноендемичну врсту. Херпетофауна (фауна водоземаца и гмизаваца) обухвата 24 врсте (13 врста водоземаца и 11 врста гмизаваца), од којих је 16 сврстано у строго заштићене и заштићене врсте, а три врсте су под контролом коришћења. Орнитофауна (фауна птица) на Космају броји 96 врста, са већим бројем ретких, угрожених и заштићених врста (29 врста се налази на Листи природних реткости Србије, односно светској и европској Црвеној листи угрожених врста) – неке од њих су прдавац (*Crex crex* L.), ћук (*Otus scops* L.), помракуша (*Caprimulgus europaeus* L.), златоврана (*Coracias garrulus* L.), зелена жуна (*Picus viridis* L.), шумска шева (*Lullula arborea* L.), обична црвенрепка (*Phoenicurus phoenicurus* L.) и вртна стрнадица (*Emberiza hortulana* L.) (Filipović & Obradović-Arsić, 2011; Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020). Због великог броја врста, Космај је препознат као потенцијално место развоја орнитотуризма, јер представља добру локацију за посматрање птица (Lukinović & Jovanović, 2020). Фауна сисара Космаја обухвата 51 врсту, сврстану у шест редова. Од поменутог броја врста, 30 је на листи природних реткости (Filipović & Obradović-Arsić, 2011). Највише врста (16) припада глодарима (Rodentia), љиљцима (Chiroptera) припада 15 врста, зверима (Carnivora) осам врста, бубоједима (Insectivora) седам врста, папкарима (Artiodactyla) четири врсте, док зечевима и сродницима (Lagomorpha) припада једна врста (Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020). На територији Космаја налази се ловиште „Космај” површине 26.962 ha, којим газдује Ловачко удружење „Космај” и ловиште „Варовнице” површине 33.844 ha, којим газдује Ловачко удружење „Варовница”.

3.1.8. Стање животне средине и статус заштите

На подручју Космаја постоји изражен антропогени утицај на животну средину. У подножју Космаја, услед великог броја руралних насеља, локално становништво својим активностима (испаша и пољопривредне активности) угрожава примарну вегетацију. На нижим надморским висинама на Космају јавља се и неконтролисана и непланска изградња великог броја стамбених објеката (викендица). Посебно је значајно и присуство „дивљих” депонија комуналног, грађевинског и другог отпадног материјала.

Загађење ваздуха је најизраженије у зимском периоду из индивидуалних ложишта локалног становништва (Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020). Анализа садржаја никла у дрвенастим и зљаствим биљкама са територије Космаја показала је да се овај тешки метал јавља у дозвољеним концентрацијама, али да концентрација расте са близином саобраћајница, указујући да је испитивани метал на подручју Космаја антропогеног порекла и продукт је издувних гасова из саобраћаја (Stanković et al., 2014).

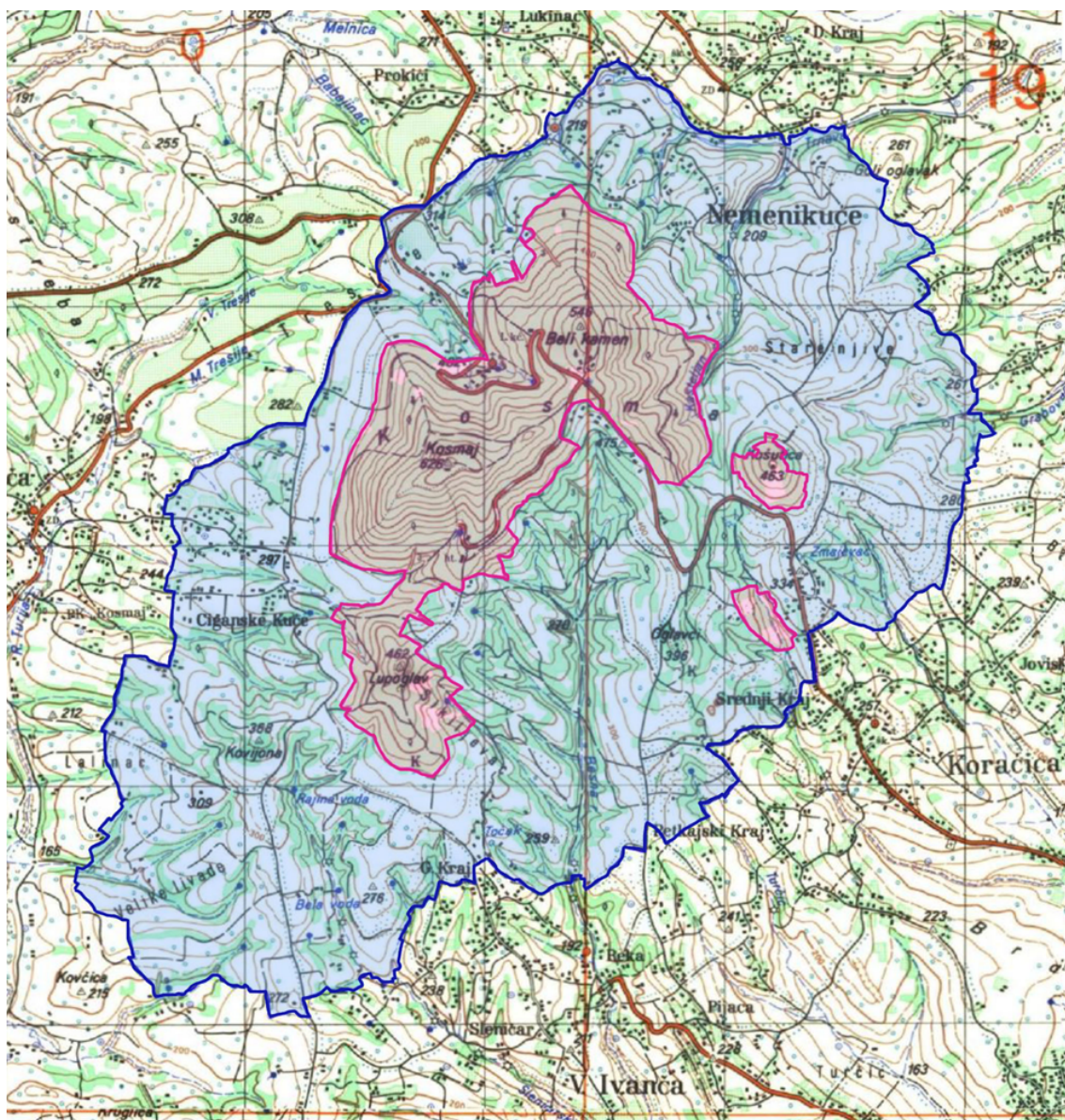
Сматра се да су састојине на Космају задовољавајућег здравственог стања, односно није опсервирано значајније присуство ентомолошких и фитопатогених обољења (Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020). Истраживања су показала да шумски комплекс Космаја апсорбује годишње 31.401 тону прашине, током вегетационог периода апсорбује 62.802 kg сумпордиоксида, годишње ослобађа више од 6.908 тона кисеоника и везује 9.420 тона угљендиоксида, а током 24 часа избацује у атмосферу више од 1.884 kg испарљивих

органичних материја са фитонцидним дејствима (Vukin et al., 2013). Према истраживањима које су спровели Јовић et al. (2014), шуме подручја планине Космај имају највећу вредност друштвене функције, због чињенице да се налазе у близини урбаних насеља, док су вредности функције еколошке стабилности мање. Просечна финансијска вредност функције биопродукције је знатно мања. Потенцијал поменутих функција је виши од ефеката (тренутног стања) и може се остварити уколико се услови у шумама Космаја побољшају имплементацијом адекватних мера газдовања.

Ради очувања и унапређења пејзажних карактеристика и предеоних вредности, структуре и квалитета шума, диверзитета станишта, флоре и фауне, квалитета вода, земљишта и ваздуха, као и добара културне баштине, 2005. године природно добро „Космај” стављено је под заштиту као предео изузетних одлика („Службени лист града Београда”, бр. 29/2005). На подручју ПИО „Космај” установљен је двостепени режим заштите: II степена (677,00 ha) и III степена (2.837,50 ha) (слика 11). Режимом заштите II степена обухваћен је простор Газдинске јединице „Космај” површине 659,30 хектара и два посебна дела око врха Кошутица и манастира Павловац (Sredojević et al., 2011). Режимом заштите III степена обухваћен је остали простор у границама заштићеног предела (Stajić, 2016; Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020). Укупна површина заштићеног природног добра износи 3.514,50 ha на територији административног подручја Београда, градске општине Младеновац (Амерић, Кораћица, Велика Иванча) и градске општине Сопот (Рогача и Неменикуће) (Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020).

Стратешки оквир заштите Космаја чини Просторни план Републике Србије, а ближи плански оквир чини Регионални просторни план административног подручја Београда, који представљају Космај као јужни део зеленог коридора града Београда који има рекреативно-туристичку и еколошку намену (Filipović & Obradović-Arsić, 2011).

Поред тога што представља заштићено природно добро на националном нивоу, Космај је и Еколошки значајно подручје Републике Србије, утврђено Уредбом о еколошкој мрежи (Службени гласник РС, бр. 102/2010), Одабрано подручје за дневне лептире у Србији (РВА - *Prime Butterfly Areas in Serbia*) и Емералд (*Emerald*) подручје – ПИО „Космај”. Према критеријумима Међународне уније за заштиту природе, подручје Космаја је сврстано у категорију „заштићених копнених/маринских предела” (*Protected Landscapes/Seascapes*) (Stajić et al., 2018).



— Степен заштите II

— Степен заштите III

Размера 1:40000

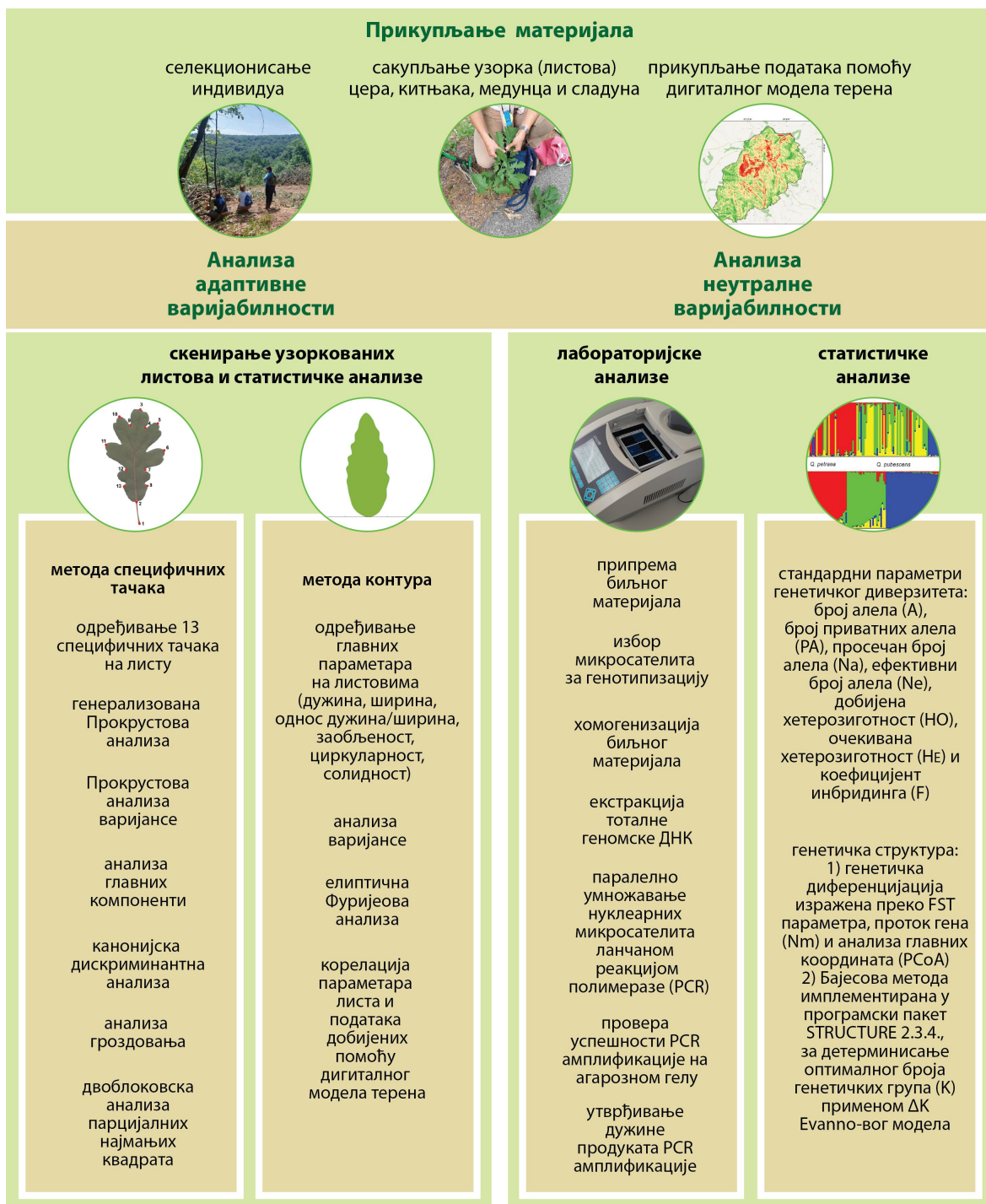
Слика 11. Карта заштићеног природног добра „Космај” (модификована према План управљања ПИО „Космај”, 2020)

У оквиру предлога за очување и унапређење карактера предела успостављањем зелене инфраструктуре и културне стазе на територији Градске Општине Младеновац, Vasiljević et al. (2014) су препознали Космај као главног носиоца карактера предела (природних и културних елемената), јер је у одређеним областима, као што су јужна падина Космаја са Кошутицом и побрђе и заравни Кораћице и Велике Иванче у подножју Космаја, могуће интегрисати вредности на нивоу карактера предела и сачувати његов идентитет. Ово се може постићи спровођењем неопходних мера у газдовању шумама на територији ПИО „Космај”, којима се омогућава побољшање њихове структуре, очување

разноврсности и аутохтоности дендрофлоре. Такође, Filipović et al. (2013) препознали су подручја Космаја и Авале као области погодне за развијање агро-екотуризма и руралног туризма, као и области адекватне за производњу органског воћа (и у мањој мери поврћа, лековитог и ароматичног биља) и узгој животиња у здравој и очуваној животној средини.

3.2. АНАЛИЗА ГЕНЕТИЧКЕ ВАРИЈАБИЛНОСТИ

Генетичка варијабилност хрстова са подручја ПИО „Космај” проучена је анализом адаптивне и неутралне варијабилности. Преглед спроведених истраживања приказан је на слици 12.



Слика 12. Приказ истраживања спроведених у оквиру докторске дисертације

Теренска истраживања извршена су на подручју ПИО „Космај”, где су селекционисане индивидуе и прикупљен биљни материјал за даље анализе. Помоћу софтверског пакета QGIS Desktop 3.22.4. израђен је дигитални модел терена истраживаног подручја.

Истраживања адаптивне варијабилности применом метода геометријске морфометрије извршена су коришћењем скенера адекватне резолуције и савремених статистичких алата (tps, MorphoJ, MASS).

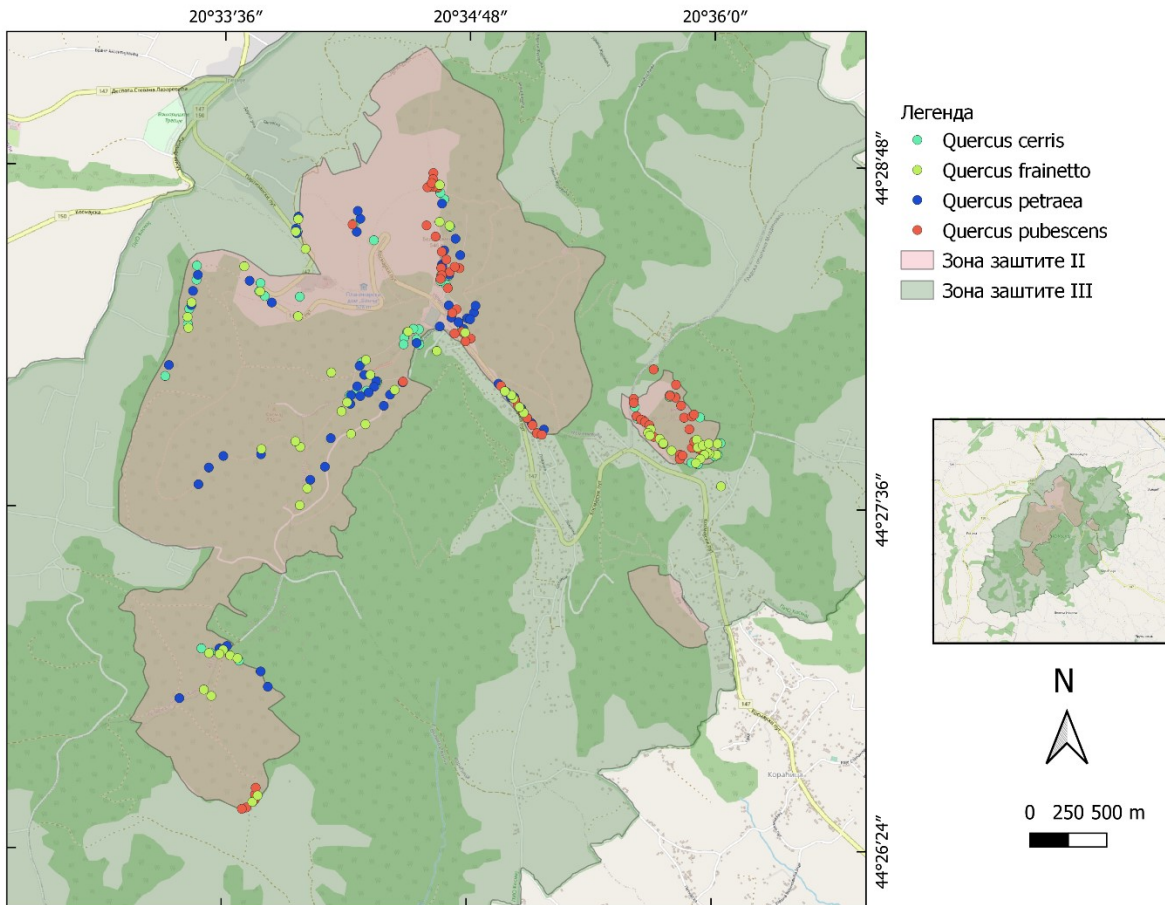
Истраживања неутралне варијабилности применом нуклеарних микросателита спроведена су у Лабораторији за биотехнологију при Катедри Семенарства, расадничарства и пошумљавања Шумарског факултета Универзитета у Београду, а добијени подаци обрађени су у различитим софтверским пакетима (GenAlEx 6.5, HP-Rare 1.0, NeEstimator, STRUCTURE 2.3.4.).

3.2.1. Анализа адаптивне варијабилности

3.2.1.1. Прикупљање материјала

Током августа 2022. године, селекционисано је 247 индивидуа четири различите врсте храстова: цер – 60, китњак – 60, медунац – 65, сладун – 62. Основни подаци о селекционисаним индивидуама, висина (m), пречник на висини 1,3 m, обим на висини 1,3 m и максимални распон крошње (m) депоновани су у Центру за мониторинг и конзервацију шумских генетичких ресурса при Катедри за Семенарство, расадничарство и пошумљавање Шумарског факултета Универзитета у Београду.

Са сваке селекционисане индивидуе је узорковано 100 потпуно развијених листова, на висини од 3 до 4 m, у засенченим условима. Сви листови су хербаризовани и скенирани коришћењем скенера Canon Pixma MG2550 при резолуцији од 300 dpi. Просторни распоред селекционисаних индивидуа за морфометријску анализу приказан је на слици 13, географске координате за сваку селекционисану индивидуу у прилозима 11-14, а фото-таблице селекционисаних индивидуа за сваку од врста у прилозима 15-18. Како би узорак био репрезентативан и да би се обухватио што шири генофонд популација одабраних врста храстова, индивидуе су селекционисане на минималној удаљености од 50 m једна од друге, равномерно распоређене на читавом подручју ПИО „Космај”.



Слика 13. Просторни распоред селекционисаних индивидуа анализираних аутохтоних храстова (цер – *Quercus cerris*, сладун – *Quercus frainetto*, китњак – *Quercus petraea*, медунац – *Quercus pubescens*), са приказом граница II и III зоне заштите на подручју ПИО „Космај”

На сваком од сакупљених листова обележено је 13 специфичних тачака, према методологији коју је предложио Viscosi (2015), коришћењем програма tpsDig и tpsUtil (Rohlf, 2015). Прве три специфичне тачке (1-3) биле су непарне и дистрибуиране дуж централне осе листа, док су остале тачке биле парне и дистрибуиране симетрично на обе стране листа (слика 14).



Слика 14. Конфигурација 13 специфичних тачака на листу храста

Ради повезивања морфометријских карактеристика листа и услова станишта, коришћен је дигитални модел терена добијен у програму QGIS Desktop 3.22.4. За добијање дигиталног модела терена коришћен је додаток SRTM Downloader 3.1.17. Овај додаток преузима податке о надморској висини са сервера који је развила NASA (*NASA Earth Data Server*) са највећом резолуцијом од 30 m. Ради добијања података о надморској висини (m), нагибу терена (%) и експозицији, коришћене су стандардне процедуре програма QGIS (*aspect, r.slope.aspect*), при чему су добијени растерски подаци за подручје Космаја, а затим је коришћењем опције узорковања растерских вредности (*Sample raster values*) добијена вредност за сваку од селекционисаних индивидуа. Коришћењем опције *Clip raster by mask layer* подаци са сервера су ограничени на подручје Космаја и представљени у виду мапа.

3.2.1.2. Статистичке анализе

Геометријска морфометрија је савремена морфометријска метода која проучава релативне положаје специфичних тачака ради квантификације величине и облика морфолошких структура (Viscosi & Cardini, 2011; Jovanović et al., 2022c). Лист чини веома погодну структуру за примену метода геометријске морфометрије, јер често представља дискриминативно својство које служи за идентификацију врста, посебно оних које се одликују ниским варирањем флоралних структура и кратким сезонама цветања, као што

су храстови (Stace, 1982). Морфологија листа је најчешће проучавана традиционалном морфометријом (Desmond et al., 2021; Zumwalde et al., 2021), обично употребом статистичких метода на низу линеарних мера, као што су дистанца, однос, угао и површина (Mitteroecker & Gunz, 2009). Међутим, коришћењем линеарних мера изражен је ефекат величине на морфометријске карактеристике листа (Kremer et al., 2002). Стога, да би се превазишао проблем утицаја величине листа на његов облик, током последњих деценија порасло је интересовање за коришћењем геометријске морфометрије у проучавању листова. Употребом ове методе, геометријска информација о разликама у облику је очувана, статистичка моћ је израженија и подаци се лако могу визуализовати (Viscosi, 2015).

У геометријској морфометрији, селекција специфичних тачака у проучавању листова захтева испуњење четири критеријума – репитабилност (потенцијал лоцирања изабраних специфичних тачака на узорку више пута), конзистенција (задржавање истих релативних положаја међу специфичним тачкама), адекватност (исти број и положај коришћених специфичних тачака) и хомологија (подударност између специфичних тачака код више узорака) (Zelditch et al., 2004). Иако су сва четири критеријума важна за квалитет специфичних тачака, успостављање хомологије је кључно, јер се само употребом хомологних специфичних тачака истраживани облици заиста могу поредити (Christodoulou et al., 2020).

Ограничења која намеће хомологија довела су до повећања популарности метода анализа контура (*outline*). Заменом хомологних специфичних тачака регуларно одвојеним тачкама дуж криве, анализа контуре заобилази проблем хомологије и може бити коришћена у случајевима где су специфичне тачке оскудне или тешке за дефинисање. Подаци о контури се тада могу анализирати коришћењем Фуријеових хармоника или других видова анализа, као што је елиптична Фуријеова анализа (Vonhonne et al., 2014).

У анализи адаптивне варијабилности листова изабраних врста храстова у овој докторској дисертацији примењене су **методе специфичних тачака** (*landmarks*) и **методе контура** (морфолошка анализа величине и облика, MASS, *Morphological Analysis of Size and Shape*).

Метода специфичних тачака

Метода специфичних тачака обухватала је генерализовану Прокрустову анализу, која је служила за добијање почетних података, који су даље анализирани Прокрустовом анализом варијансе (Procrustes ANOVA) и анализом главних компоненти (PCA). За прикупљање дводимензионалних података, односно X и Y координата специфичних тачака на скенираним листовима, коришћен је програмски пакет tpsDig (Slice et al., 1998). Употреба поменутог програма омогућава одређивање конфигурације свих анализираних листова помоћу специфичних тачака. Програмски пакет tpsUtil коришћен је за припрему улазних података за tpsDig (Rohlf, 2015). После одређивања координата специфичних тачака, за анализу облика геометријском морфометријом коришћен је програмски пакет MorphoJ (Klingenberg, 2011).

Генерализована Прокрустова анализа (GPA) је најчешће примењивана процедура у студијама геометријске морфометрије, којом се елиминацијом ефекта величине, положаја и оријентације издвајају варијабле облика за сваки лист из узорка. Прокрустовом анализом (Прокрустовом суперимпозицијом или поравнањем) се скалирањем,

транслацијом и ротацијом конфигурација специфичних тачака које описују сваки лист, елиминишу све разлике у датом узорку које су условљене разликама у величини, положају и оријентацији. Тиме се задржавају само информације које су директно везане за разлике у облику. Основни кораци GPA су: (1) скалирање конфигурације специфичних тачака на јединичну величину центроида, што се постиже дељењем координата сваке од специфичних тачака конфигурације са величином центроида; (2) центрирање (транслација) сваке конфигурације специфичних тачака у односу на осе координатног система, чиме се елиминише ефекат положаја; (3) ротирање сваке конфигурације у односу на референтну конфигурацију, тако да се њихове конфигурације преклапају у највећој мери. GPA се изводи у неколико циклуса, од којих сваки садржи поменуте кораке. Циклуси се смењују док се не постигне положај у коме је збир квадрата растојања специфичних тачака у односу на референтну конфигурацију најмањи. Координате специфичних тачака након скалирања, центрирања и ротације (чиме су елиминисане све разлике у величини, положају и оријентацији конфигурација специфичних тачака) носе информације о облику одређене конфигурације и означавају се као Прокрустове координате и представљају полазне податке за даље анализе варијабилности облика. После Прокрустове суперимпозиције тачака, конфигурације специфичних тачака су распоређене у специфичном мултидимензионалном геометријском простору, који одређује посебна метрика. Ова метрика назива се Прокрустова дистанца и на основу ње није могуће изводити конвенционалне статистичке анализе које су неопходне како би се показала и истражила варијабилност облика у узорку. Све уобичајене статистичке анализе заснивају се на Еуклидовској метрици која важи у Еуклидовом линеарном геометријском простору. Неопходан корак за даље анализе је пројекција Прокрустових координата конфигурација специфичних тачака на Еуклидовски, односно тангентни простор. Разлике у Прокрустовим, односно пројектованим координатама између одговарајућих конфигурација специфичних тачака представљају разлике у облику између објеката који се пореде (Zelditch et al., 2004).

Величина центроида представља геометријску меру величине неког објекта описаног конфигурацијом специфичних тачака. Као опште прихваћена скраћеница користи се CS (енгл. *centroid size*). Величина центроида представља меру дисперзије специфичних тачака од средишта (центроида) дате конфигурације. Што су специфичне тачке удаљеније од центроида, вредност величине центроида је већа. Међусобно поређење величине центроида могуће је само ако се пореде морфолошке целине описане конфигурацијама које имају исти број и исти распоред специфичних тачака.

Анализа главних компоненти (*Principal Components Analysis, PCA*) коришћена је за визуализацију разлика међу врстама и популацијама храстова. У основи, ова анализа омогућава превођење великог броја променљивих у мањи број променљивих које сумирају велики део варијабилности садржан у оригиналним подацима. Ова метода је корисна и применљива, јер се варијабилност узорка, односно њен велики део, може описати са неколико променљивих. Скуп нових променљивих које описују дати узорак означава се као скуп главних компоненти (PC). Свака од ових компоненти постепено описује максимални проценат варијабилности, односно све мањи проценат укупне варијабилности узорка. Прва компонента у овој анализи (прва PC оса, PC-I) описује највећи део укупне варијабилности датих карактера. Наредне компоненте PC-II, PC-III, итд., сумирају мањи део укупне варијабилности у узорку. Главне компоненте формирају сопствени координатни систем у коме положај сваке конфигурације у односу на осе

означава оцену одређеног листа. Поменуте оцене представљају положај сваког листа у новом координатном систему. У односу на поједине вредности координата, листови се распоређују дуж наведених оса, тако да формирају групе на основу информација садржаних у Прокрустовим, пројектованим координатама, односно на основу сопственог облика. У геометријској морфометрији, PCA анализа омогућава груписање листова искључиво на основу варијабилности облика (Ivanović & Kalezić, 2012).

Поред анализе главних компоненти (PCA), за груписање је коришћена и канонијска дискриминантна анализа (*Canonical Discriminant Analysis, CDA*). Поменутом анализом добијају се канонијске осе, дуж којих је могуће утврдити раздвајање анализираних група. Свака канонијска оса описује одређени проценат разлика међу групама. Прва канонијска оса носи највеће разлике међу средњим вредностима анализираних група, док је другом канонијском осом описан мањи проценат разлика међу групама (Pogobić, 2017). Резултати CDA анализе (Махаланобисове дистанце) даље су анализирани коришћењем анализе гроздовања (кластер анализа). Анализа гроздовања представља групу анализа у којима се мултиваријантна анализа представља као серија скупова у виду стабла – дендрограма.

Промене облика дуж издвојених РС и канонијских оса графички су приказане у виду TPS деформационих мрежа. TPS представља идеално танку, бесконачну металну плочу (енгл. *Thin Plate Spline*) (Bookstein, 1991). Математичка основа за визуализацију промена облика између две одговарајуће конфигурације специфичних тачака произилази из физичке метафоре трансформација идеално танке, бесконачне металне плоче. Све промене облика приказују се као деформационе мреже, односно деформације полазне равне танке металне плоче. Полазна основа је да су конфигурације специфичних тачака које се пореде постављене на идеално танкој, бесконачној металној плочи. Разлике пројектованих Прокрустових координата конфигурација условљавају деформације танке металне плоче, која се истезе или скраћује, односно увија тако да осликава одговарајуће конфигурације специфичних тачака конфигурација које се пореде. Облик и начин деформација танке металне плоче искључиво зависе од постојећих разлика у конфигурацијама специфичних тачака. Деформацијама бесконачно идеално танке металне плоче могуће је визуализовати промене облика. Такође, упоређивањем деформационих мрежа могуће је локализовати промену облика листа која у највећој мери утиче на уочени образац груписања на основу облика деформације мрежа.

Метода контура

Морфолошка анализа величине и облика (*Morphological Analysis of Size and Shape - MASS*) коришћена је за добијање контуре листа, која је даље коришћена за рачунање дужине, ширине, површине, односа висине и ширине, флукутирајуће асиметрије, заобљености, циркуларности (однос површине и обима) и солидности (однос површине и конвексног омотача). Ови параметри су анализирани анализом варијансе. Варирање у облику контура представљено је елиптичном Фуријеовом анализом (Chuanromanee et al., 2019).

Морфолошка анализа величине и облика је интегративни софтверски програм за морфометријску анализу листова развијен је у MATLAB-у, са могућношћу функционисања као независна апликација. Анализа започиње селекцијом фотографије која ће бити анализирана и њеном калибрацијом и скалирањем, селектовањем појединачног листа на фотографији и његовим превођењем у црно-белу боју. Софтвер

затим формира додатну црно-белу фотографију, која представља спољашњост, односно унутрашњост листа, оивичену црвеном испрекиданом линијом која представља маргину листа. Листови који нису цели, као и лисне дршке, искључени су из анализа, како не би утицали на крајње резултате. На црно-белим фотографијама, софтвер бинаризацијом израчунава вредности центроида и главних компоненти и ротира лист тако да је најдужим делом у вертикалном положају. Након бинаризације и ротације, ова нова бинарна фотографија користи се за добијање основних показатеља облика листа. Вредности висине и ширине листа добијене су смештањем ротираниг листа у ограничени простор где се на основу унапред одређене скале добијају жељене вредности, док је површина листа израчуната на основу броја белих пиксела у оквиру селекције листа. Флукутирајућа асиметрија (FA) је такође израчуната, као квантитативна мера леве и десне асиметрије сваког анализираног листа. Вредности $FA = 0$ указују на савршено симетричан лист, док негативне вредности указују на искошења ка десној, а позитивне ка левој страни листа. Софтвер бележи просечне апсолутне FA вредности за сваки лист, дајући просечну (позитивну) меру симетрије за сваки лист. Разлике у добијеним вредностима висине, ширине, површине, односа висине и ширине, флукутирајуће асиметрије, заобљености, циркуларности (однос површине и обима) и солидности (однос површине и конвексног омотача; листови са већим разликама између површине и конвексног омотача, као што су листови са дубоким режњевима, могу се разликовати од компактнијих листова на основу овог показатеља (Li et al., 2018)) даље су анализирани коришћењем мултиваријантне анализе варијансе (MANOVA).

Једну од најчешће коришћених техника анализе облика листа представљају елиптични Фуријеови дескриптори (EFDs, syn. елиптична Фуријеова анализа – *Elliptic Fourier Analysis, EFA*) (Kuhl & Giardina, 1982). У овој докторској дисертацији, поред мерења дужине, ширине, површине и асиметрије, бинарна фотографија листа коришћена је као почетна тачка за рачунање елиптичних Фуријеових дескриптора за сваки од листова. Применом елиптичне Фуријеове анализе, облик листа се анализира у домену фреквенције а не у просторном домену. Одређени број Фуријеових хармоника (синусоида) се израчунава на контури листа, од којих свака има само четири коефицијента. Поменута група (сет) коефицијената формира Фуријеов дескриптор, при чему већи број хармоника даје прецизнију дескрипцију. Елиптични Фуријеови дескриптори могу лако бити нормализовани да представљају облик независно од оријентације, величине или положаја, олакшавајући поређење међу врстама. Једна од предности ове методе је та што се облик може реконструисати из дескриптора. Елиптична Фуријеова анализа је честа метода за поређење сличних објеката различите геометрије, јер Фуријеови коефицијенти генерисани у овом типу анализе не варирају са ротацијом, трансформацијом и дилатацијом затворених контура које представљају облик објекта (Klein et al., 2017). Број синусоида (хармоника) у Фуријеовој анализи уноси се мануелно, при чему је 15 до 20 хармоника типично довољно за испитивање листова. У овој докторској дисертацији коришћено је 15 хармоника. Софтвер затим даје елиптичну Фуријеову апроксимацију крајњих контура и враћа коефицијенте за сваку хармонику.

Унутарврсна варијабилност величине и облика листа одабраних врста храстова проучена је за сваку врсту засебно коришћењем морфолошке анализе величине и облика и специфичних тачака. У оквиру MASS анализе, спроведене су дескриптивне статистичке анализе добијених параметара (рачунање средње, минималне и максималне вредности, опсега, стандардне девијације и коефицијента варијације), израчунате су корелације међу њима и спроведена је анализа варијансе (ANOVA) са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом. Махаланобисове дистанце, добијене канонијском дискриминантном анализом, коришћене су за анализу гроздовања (кластер). Варијабилност контура листа визуелно је приказана помоћу елиптичне Фуријеове анализе коришћењем 20 хармоника (синусоида).

Анализа специфичних тачака спроведена је коришћењем 13 изабраних тачака (слика 14). Генерализована Прокрустова анализа коришћена је за добијање Прокрустових координата, које су даље проучаване анализом главних компоненти (за утврђивање разлика у облику) и Прокрустовом анализом варијансе (Прокрустова ANOVA, за утврђивање разлика у величини и облику). Поред поменутог, алометријски обрасци коваријације између величине и облика листа процењени су двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата.

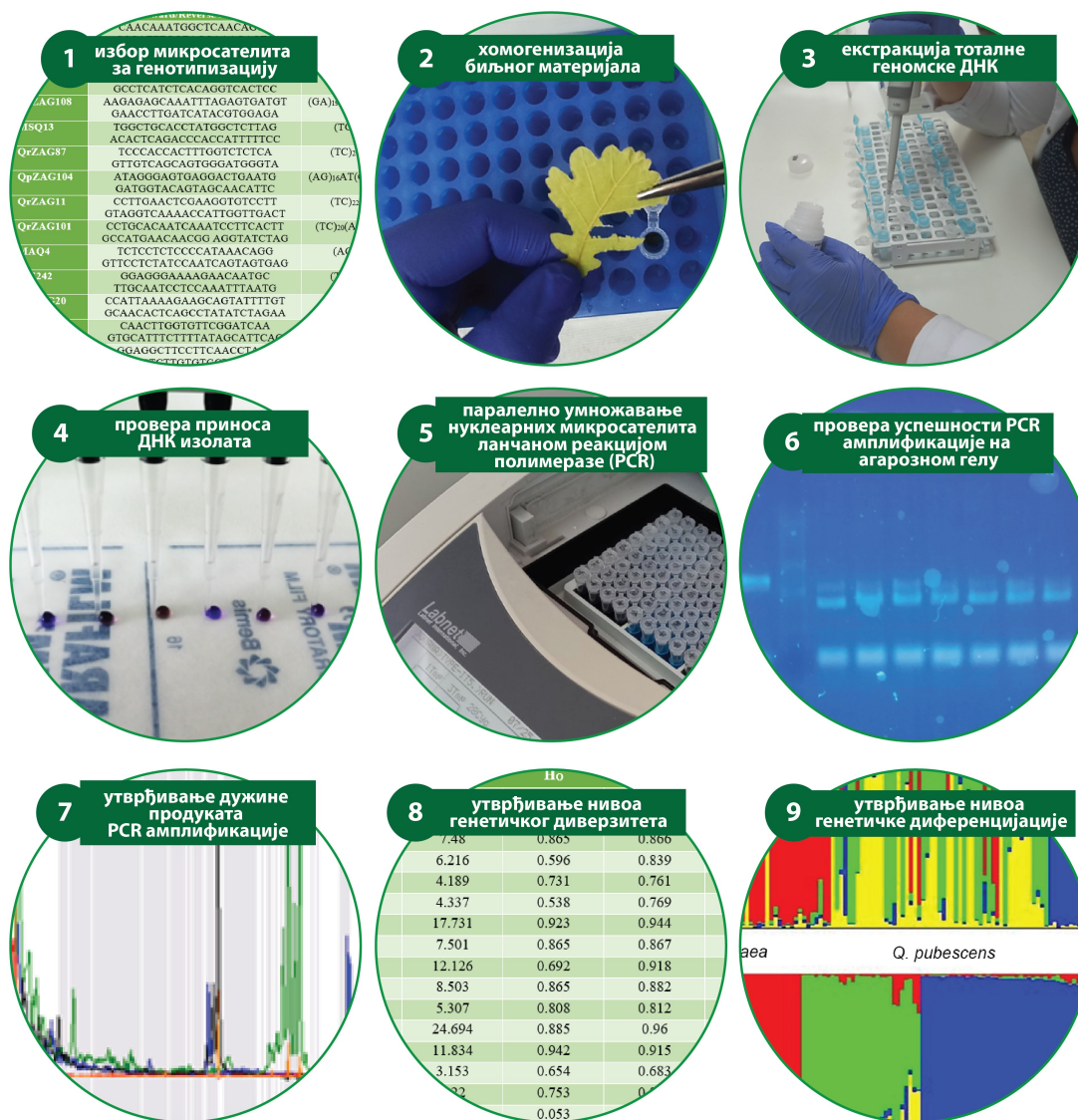
Међуврсна варијабилност величине и облика листа одабраних врста храстова проучена је коришћењем морфолошке анализе величине и облика и специфичних тачака. У оквиру MASS анализе, спроведене су анализе корелација између добијених параметара и анализа варијансе са врстом као групишућом променљивом. Резултати анализе варијансе графички су представљени за сваки параметар. Анализа специфичних тачака спроведена је коришћењем 13 изабраних тачака (слика 14). Генерализована Прокрустова анализа коришћена је за добијање Прокрустових координата, које су даље анализирани анализом главних компоненти (за утврђивање разлика у облику) и Прокрустовом анализом варијансе (за утврђивање разлика у величини и облику).

Вредности добијене MASS анализом коришћене су за тестирање утицаја надморске висине, нагиба терена и експозиције на морфометријске карактеристике листа. Израчунате су просечне вредности MASS параметара за сваку индивидуу а затим су, коришћењем Пирсоновог коефицијента корелације, корелисане са вредностима надморске висине и нагиба терена. Поред табеларног приказа свих корелација, статистички значајне корелације су представљене и графички. Категорије експозиције (север, североисток, северозапад, југ, југоисток, југозапад, исток, запад) коришћене су као групишућа променљива у анализи варијансе и канонијској дискриминантној анализи за цео узорак, ради утврђивања потенцијалних разлика између листова у зависности од експозиције. За Махаланобисове дистанце, добијене канонијском дискриминантном анализом, одређена је статистичка значајност (p вредности). Поред тога, за сваку категорију експозиције израчунате су корелације међу параметрима. Резултати ових корелација представљени су у виду колор мапа (*color maps*).

3.2.2. Анализа неутралне варијабилности

Анализа неутралне варијабилности храстова са подручја ПИО „Космај” обављена је у оквиру истраживања која су реализована као део пројекта «Идентификовање, праћење и конзервација генофонда ендемичних, ретких и угрожених дрвенастих врста на подручју ПИО „Космај”» (Šijačić-Nikolić, 2023; Šijačić-Nikolić et al. 2023).

Анализа је укључивала селекцију индивида четири врсте храста, сакупљање и припрему биљног материјала (листова), избор микросателита за генотипизацију, хомогенизацију биљног материјала, екстракцију тоталне геномске ДНК, проверу приноса ДНК изолата, паралелно умножавање нуклеарних микросателита ланчаном реакцијом полимеразе (*Polymerase Chain Reaction, PCR*), проверу успешности PCR амплификације на агарозном гелу, утврђивање дужине продуката PCR амплификације (*scoring*), као и утврђивање нивоа генетичког диверзитета анализираних врста и њихову генетичку диференцијацију (слика 15).



Слика 15. Основни кораци анализе неутралне варијабилности

3.2.2.1. Узорковање

Укупно је селекционисано 247 индивидуа изабраних врста храстова, од тога 65 индивидуа медунаца, 60 индивидуа китњака, 62 индивидуе сладуна и 60 индивидуа цара. Коришћени су исти узорци селекционисаних индивидуа као и за анализу адаптивне варијабилности, приказани на слици 13 и у прилозима 11-14. Узорци су сакупљени у мају 2022. године. Са сваке селекционисане индивидуе сакупљено је око 10 нормално развијених младих листова који су хербаризовани, а затим стављени у засебне филтер кесице обележене словном и нумеричком ознаком. По пет кесица је стављено у веће зип кесице са 30 до 60 g индикаторског силика гела, ради исушивања, које је трајало око 7 дана. Силика гел је мењан редовно након промене боје из наранџасте у белу, што је указивало на засићеност гела влагом, како би се обезбедило ефикасно исушивање и како не би дошло до контаминација узорака гљивама. Припремљени и обележени узорци одложени су у замрзивач на -20°C .

3.2.2.2. Лабораторијске анализе

Двадесет нуклеарних микросателита је изабрано за генотипизацију, од којих се 14 показало веома информативним и поузданим након тестирања (табела 2). Избор нуклеарних микросателита који су коришћени за процену неутралне варијабилности одабраних врста храстова са подручја ПИО „Космај” извршен је на основу података о структури репетитивних мотива локуса (перфектни микросателити, микросателити са композитним репетитивним мотивом и микросателити са репетитивним мотивом у који је уметнут низ нуклеотида), броја алела, ПИК вредности и/или добијене хетерозиготности, као и на основу информација о одсуству мултиплих продуката амплификације, нултих алела и дужинске хомоплазије доступних у 327 научних публикација (нпр. Gugerli et al. 2007; Muir & Schloetterer 2005; Curtu et al. 2007; Dering & Chybicki 2012; Burczyk et al. 2018). Такође, на основу приступних бројева секвенци локуса наведених у литератури, преузети су FASTA фајлови са примарним редоследом нуклеотида који су депоновани у јавној банци гена GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>), проверена је структура репетитивних мотива маркера, као и места везивања прајмера. Као резултат поменуте опсежне анализе литературних података одабрано је 20 нуклеарних микросателита коју су се у бројним ранијим истраживањима показали као веома информативни и поуздани. Код два локуса (QpZAG36 и QpZAG58) уочене су мутације у местима везивања прајмера, због чега су за PCR амплификацију ових локуса коришћени редизајнирани директни и реверзни прајмери (Muir & Schloetterer, 2005).

Табела 2. Нуклеарни микросателити коришћени за процену неутралне варијабилности храстова

Локус	Секвенце прајмера (5'-3') (Forward/Reverse Primers)	Мотив поновка	Дужина фр. (bp)	Референца
PIE239	CAACAAATGGCTCAACAGTG CCCATTTGGTAGCAAAGAGTC	(AT) ₁₂	70-83	Durand et al., 2010
FIR004	TCTCTCTCAGGGCAGCTTCT AACCAAACCTCAGATCCAGATTCA	(CT) ₁₈	123-179	Durand et al., 2010
QrZAG90	GGAAGATAGTACC AGCTTGGTGAAT GCCTCATCTCACAGGTCACCTCC	(GA) ₃₄	220-244	Kampfer et al., 1998
QrZAG108	AAGAGAGCAAATTTAGAGTGATGT GAACCTTGATCATACTGGGAGA	(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	CCTTGAACCTCGAAGGTGTCCTT GTAGGTCAAAAACCATTTGGTTGACT	(TC) ₂₂	238-267	Kampfer et al., 1998
QrZAG101	CCTGCACAATCAAATCCTTCACTT GCCATGAACAACGG AGGTATCTAG	(TC) ₂₀ (AC) ₁₅	136-160	Kampfer et al., 1998
MAQ4	TCTCCTCTCCCATAAACAGG GTTCTCTATCCAATCAGTAGTGAG	(AG)	203-227	Dow et al., 1995
PIE242	GGAGGGAAAAGAACAATGC TTGCAATCCTCCAAATTTAATG	(TA) ₁₀	102-128	Durand et al., 2010
QrZAG20	CCATTAAGAAGAAGCAGTATTTTGT GCAACACTCAGCCTATATCTAGAA	(TC) ₁₈	160-200	Kampfer et al., 1998
QrZAG7	CAACTTGGTGTTCGGATCAA GTGCATTTCTTTATAGCATTCAC	(TC) ₁₇	115-153	Kampfer et al., 1998
QpZAG110	GGAGGCTTCCTTCAACCTACT GATCTCTTGTGTGCTGTATTT	(AG) ₁₅	206-262	Steinkellner et al., 1997

Узорци су анализирани у Лабораторији за биотехнологију Шумарског факултета Универзитета у Београду. За сваку селекционисану индивидуу, до 20 mg осушеног биљног материјала (лист) је хомогенизовано помоћу апарата *TissueLyser II* (Qiagen, Valencia, CA, USA) и коришћено за екстракцију тоталне геномске ДНК помоћу комерцијалног кита *peqGOLD Plant DNA Mini Kit* (PEQLAB). Количина и чистоћа геномске ДНК одређена је коришћењем апарата *NanoVue* (GE Healthcare Europe, Freiburg, Germany), при чему су ДНК раствори разређени на радне концентрације од 50 ng/μl.

Хомогенизација биљног материјала обухватала је одмеравање по око 20 mg осушеног биљног ткива (лисна плоча без лисних нерава), за сваку од селекционисаних индивидуа и његову хомогенизацију помоћу апарата *TissueLyser II* (QIAGEN). Поменути процедура је обухватила неколико корака: (1) у стерилну пластичну микроепрувету (*Eppendorf tubes*) запремине 2 ml стављено је око 20 mg сувог лисног ткива, одмереног помоћу аналитичке ваге (RADWAG Wagi Elektroniczne, Poland); (2) затим је у сваку микроепрувету убачена по једна стерилна метална куглица 4 mm у пречнику; (3) микроепрувете су пребачене у адаптере са отворима за тубе, а затим стављене у замрзивач на 30 минута; (4) адаптери су затим постављени у металне носаче држача апарата *TissueLyser II*, а хомогенизација је извршена на 30 Hz у трајању од 2 минута; поменути

корак је два пута поновљен, уз окретање адаптера. Наведеним поступком добијен је хомогенизован биљни материјал који је одложен у замрзивач до тренутка екстракције тоталне геномске ДНК.

Екстракција тоталне геномске ДНК обављена је коришћењем комерцијалног пакета за екстракцију биљне ДНК *peqGOLD Plant DNA Mini Kit* (PEQLAB), према протоколу произвођача. Пре почетка екстракције извршена је припрема пуфера за испирање (*Wash Buffer*), додавањем одређене количине 100% етанола. Такође, у сваки узорак стерилном шпатулом додата је врло мала количина активног угља, са циљем апсорпције секундарних метаболита који могу да интерферирају са компонентама које се користе током екстракције и ензимске реакције са полимеразом.

Протокол за екстракцију ДНК обухватао је следеће кораке:

(1) у сваку микропрувету са замрзнутим уситњеним биљним материјалом је додато по 600 μ l екстракционог пуфера *Lysis Buffer SP1* и 5 μ l *RNase A* (20 mg/ml); микропрувете су кратко промућкане на апарату *vortex* (око 10 секунди) и постављене у термоблок који је претходно загрејан на 65°C; биљни материјал мешан је инверзијом на сваких 10 min, а инкубација на 65°C је трајала 60 min;

(2) након инкубације је у сваки узорак додато по 210 μ l пуфера *Lysis Buffer SP2*; микропрувете су кратко промућкане на апарату *vortex* (5 секунди) и стављене у замрзивач у трајању од 5 min; микропрувете са биљним материјалом и пуфером су центрифугиране 10 min на брзини од 12.500 g;

(3) након центрифугирања, сва количина супернатанта (сва 700 μ l) пребачена је у тубе за сакупљање које имају префилтере; тако припремљене тубе са супернатантом центрифугиране су 1 min на 10.000 g;

(4) након центрифугирања одбачени су префилтери а у колекционе тубе са течном фазом је додато по 1,5 волумена *SP3* пуфера;

(5) око 650 μ l добијеног раствора пренесено је у тубе са филтером за везивање које су постављене у колекционе тубе;

(6) тубе су центрифугиране 1 min на максималној брзини;

(7) из колекционих туба су извађени филтери са везаном ДНК и смештени у нове колекционе тубе, а течни остатак је отклоњен;

(8) кораци 5, 6 и 7 су поновљени са остатком ДНК раствора који је пребачен у тубе са филтерима са везаном ДНК;

(9) филтери са везаном ДНК су постављени у нове колекционе тубе, и у сваку тубу је додато по 650 μ l 80% етанола; тубе су центрифугиране 1 min на 10.000 x g; након центрифугирања течни остатак је одбачен;

(10) корак 9 је поновљен;

(11) филтери са везаном ДНК у колекционим тубама без течног остатка су центрифугирани још једном у трајању од 2 min на 10.000 g како би се просушила мембрана филтера;

(12) филтери са везаном ДНК су пребачени у тубе од 1,5 ml;

(13) у сваку тубу је додато по 50 μ l претходно загрејаног (65°C) елуционог пуфера (*Elution Buffer*) и тубе су остављене отворене на собној температури у трајању од 2 min; тубе су центрифугиране 1 min на 6.000 x g;

(14) корак 13 је поновљен.

Након екстракције ДНК изолати су складиштени у микропрувете од 1,5 ml са силиконским затварачем и стављени у фрижидер (+4°C).

Принос и квалитет ДНК изолата проверен је електрофорезом на 1% агарозном гелу. Агарозни гел припремљен је загревањем до кључања 1 gr агарозе растворене у 100 ml 1 × ТВЕ (*Tris-Borate-EDTA*) пуфера. Бистри раствор је изливен у калуп за електрофорезу у који су постављени чешљеви, и остављен да се охлади и стврдне. Затим је у кадицу за електрофорезу (напуњену 1 × ТВЕ пуфером) смештен гел у калупу, а чешљеви који су служили за формирање бунарића у гелу су извађени. По 5 µl тоталне геномске ДНК је помешано са по 5 µl боје *Midory green* (Nippon Genetics Europe GmbH) на парафилму за сваки узорак посебно, ради визуализације под УВ светлом. ДНК са бојом је стављена у бунариће на гелу, после чега је кроз гел пропуштена струја (10 mA). ДНК је визуализована под УВ светлом. Присуство јасних трака на гелу је указало на то да је принос и квалитет ДНК добар код свих изолата и да ДНК може бити коришћена за даљи рад. С обзиром да је свих 247 ДНК изолата имало задовољавајући принос и квалитет, аликвотирано је по 20 µl тоталне геномске ДНК у стрипове који се састоје од 8 повезаних тубица са капицама запремине 0,2 ml.

За паралелну амплификацију коришћен је комерцијални кит *Type-it Microsatellite PCR Kit* (QIAGEN). Микросателитни локуси су за потребе паралелне генотипизације груписани у два микса: OM1 – PIE239, FIR004, QrZAG90, QrZAG108, MSQ13, GOT004, QrZAG87, QpZAG104, QrZAG11, QrZAG103, QrZAG102, и OM2 – QpZAG36, QrZAG101, MAQ4, PIE242, QrZAG20, QpZAG1/2, QpZAG58, QrZAG7, QpZAG110. Директни прајмери (F) сваког пара прајмера свих селектованих локуса обележени су једном од четири флуоресцентне боје из сета *Dye set G5* (DS-33, Applied Biosystems, USA).

Успешност PCR реакција процењена је сепарацијом продуката PCR амплификације процесом електрофорезе на 2% агарозном гелу. За процену дужине PCR продуката употребљена је комерцијална лествица *O'GeneRuler™ 50 bp DNA Ladder* (Thermo Scientific™). За припрему агарозног гела 2 грама агарозе растворене у 100 ml 1 × ТВЕ (*Tris-Borate-EDTA*) пуфера загрејано је до кључања и изливено у калуп за електрофорезу (са чешљевима). Након што се охладио и стврднуо, гел у калупу је постављен у кадицу за електрофорезу напуњену 1 × ТВЕ пуфером. Чешљеви, који су служили за формирање бунарића у гелу, су извађени. Након мешања по 5 µl PCR продуката са бојом *Midory Green Direct* (Nippon Genetics Europe GmbH), смеша је наношена у бунариће на агарозном гелу. У бунарић у средини гела је унета лествица. Продукти амплификације су визуализовани под УВ светлом. Већи број мањих трака је опсервирано у оквиру сваке траке, што је указало на успешну амплификацију локуса у свакој PCR реакцији. После провере, продукти амплификације су пренесени у плејтове. Дужине продуката PCR амплификације одређене су комерцијално у Центру за форензичку и примењену молекуларну генетику при Биолошком факултету Универзитета у Београду. Дужине продуката PCR амплификације процењене су коришћењем програмског пакета *GeneMapper* (Applied Biosystems Inc., Foster City, USA) и лествице *GeneScan™-600LIZ™ Size Standard* (Applied Biosystems).

3.2.2.3. Статистичке анализе

Молекуларни подаци добијени умножавањем нуклеарних микросателита код четири врсте храстова обрађени су применом стандардних популационо-генетичких пакета: GenAlEx 6.5 (Peakall & Smouse 2012), HP-Rare 1.0 (Kalinowski, 2005), NeEstimator

(Do et al., 2014) и STRUCTURE 2.3.4. (Pritchard et al., 2000). С обзиром на то да је код цера број маркера који су успешно умножени (5) био знатно мањи у односу на остале врсте храстова (14), као и да је на појединим локусима уочено неслагање дужина алела код цера с једне стране, и китњака, медунца и сладуна са друге стране, односно, тзв. смицање дужина алела за по један базни пар, даље анализе обављене су засебно за цер, и засебно за остале три врсте храстова.

Стандардни параметри генетичког диверзитета – број алела (A), број приватних алела (PA), просечан број алела (Na), ефективни број алела (Ne), добијена хетерозиготност (Ho), очекивана хетерозиготност (He) и коефицијент инбридинга (F) утврђени су коришћењем програмског пакета GenAlEx 6.5. Ефективна величина популације (Ne) утврђена је применом програмског пакета NeEstimator уз одбацивање алела чија је фреквенца $\leq 0,02$, а богатство алела применом програмског пакета HP-Rare 1.0.

Генетичка структура испитиваних популација четири врсте храста утврђена је применом два приступа:

(1) Коришћењем добијених фреквенци алела и генотипова генерисаних применом 14 молекуларних маркера које су послужиле за утврђивање параметара генетичке диференцијације изражене преко F_{ST} параметра, као и протока гена (Nm , према формули $Nm = [(1 / F_{ST}) - 1] / 4$) и анализу главних координата (PCoA), коришћењем програмског пакета GenAlEx 6.5;

(2) Бајесова метода имплементирана у програмски пакет STRUCTURE 2.3.4., која је послужила за детерминисање оптималног броја генетичких група (K) применом ΔK Evanno-вог модела (Evanno et al., 2005), као и за утврђивање потенцијалне субструктуре популација.

Генетичка диференцијација популација китњака, медунца и сладуна процењена је и коришћењем Монте Карло Марков Ланац (MCMC) симулација, путем Бајесове методе груписања на основу различитих модела сродности индивидуа и модела фреквенци алела. Бајесова метода имплементирана у програмски пакет STRUCTURE 2.3.4. коришћена је за утврђивање оптималног броја генетичких група код испитиваних популација храстова. Коришћени су следећи задати параметри: MCMC преданализа 700.000 итерација, MCMC анализа 700.000 итерација, модел корелисаних (зависних) фреквенци алела и сродност индивидуа по моделу адмиксије. Број претпостављених генетичких група износио је $K = 1-6$, а број понављања анализа за сваку групу износио је 10.

STRUCTURE анализа није обављена са испитиваном популацијом цера због мале резолуције која се очекује код сета података заснованих на пет нуклеарних микросателита. Међутим, обављена је PCoA анализа, у којој су коришћене генетичке дистанце између појединачних индивидуа ове врсте.

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

4.1. АДАПТИВНА ВАРИЈАБИЛНОСТ

Резултати анализе адаптивне варијабилности, извршене на четири аутохтоне врсте храста са подручја ПИО „Космај”, представљени су на унутар- и међуврсном нивоу. Поред тога, представљени су резултати везе морфологије листа и карактеристика станишта добијени коришћењем дигиталног модела терена.

4.1.1. Унутарврсна варијабилност

4.1.1.1. Цер

Дескриптивне статистичке анализе за дужину, ширину, површину, однос дужина/ширина, флукутирајућу асиметрију, заобљеност, циркуларност и солидност листа цера приказане су у табели 3. Највећи коефицијент варијације забележен је за флукутирајућу асиметрију, указујући да је овај параметар највише варирао у узорку (од вредности 0 која указује на потпуно симетричне листове, до вредности од 0,57 која указује на значајне разлике између леве и десне стране листа). Параметар који се показао најстабилнијим (најмањи коефицијент варијације) била је солидност.

Табела 3. Дескриптивни статистички показатељи основних параметара листа цера

	Средња вредност	Минимум	Максимум	Опсег	Стандардна девијација	Коефицијент варијације
Дужина (cm)	11,00	6,67	17,26	10,58	1,96	17,83
Ширина (cm)	5,23	2,64	8,60	5,96	1,09	20,80
Површина (cm ²)	36,89	11,58	85,35	73,78	13,14	35,63
Однос дужина/ширина	2,13	1,42	2,97	1,55	0,27	12,82
Флукутирајућа асиметрија	0,12	0,00	0,57	0,57	0,11	98,36
Заобљеност	0,38	0,24	0,54	0,30	0,05	13,02
Циркуларност	0,44	0,19	0,68	0,48	0,08	17,54
Солидност	0,88	0,78	0,95	0,17	0,03	3,09

Корелациона матрица добијена је коришћењем Пирсонових коефицијената корелације међу добијеним параметрима. Статистички значајне позитивне корелације приказане су плавом бојом у табели 4, док су статистички значајне негативне корелације приказане црвеном бојом. Уочено је да већина параметара показује значајне корелације са

другим параметрима, осим флукутирајуће асиметрије, која је показала статистички значајне негативне корелације само са циркуларношћу и солидношћу.

Табела 4. Корелације између параметара листа цера

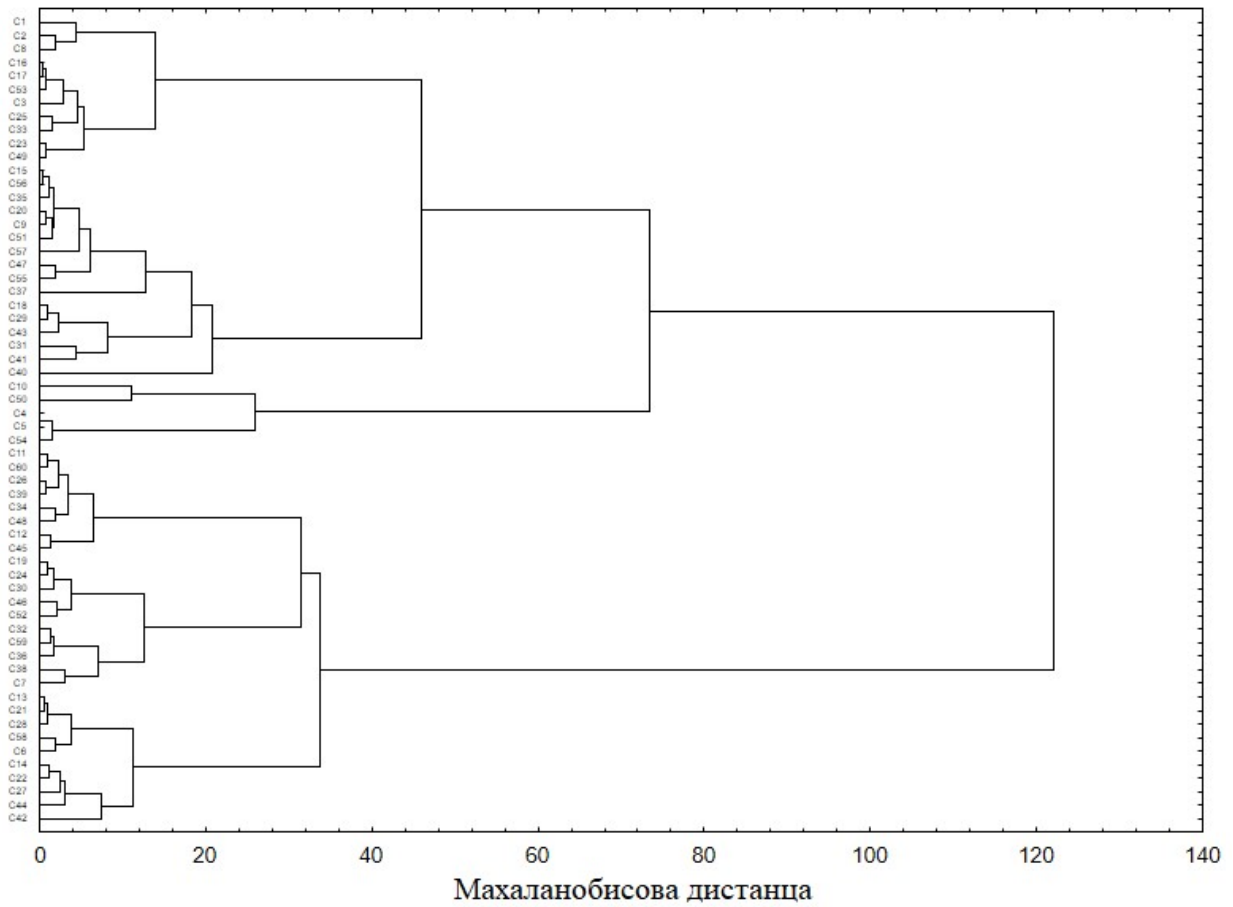
	Дужина (cm)	Ширина (cm)	Површина (cm ²)	Однос дужина/ширина	Флукутирајућа асиметрија	Заобљеност	Циркуларност	Солидност
Дужина (cm)	*	0,80	0,93	0,08	0,00	-0,16	-0,30	-0,20
Ширина (cm)	0,80	*	0,93	-0,52	0,04	0,38	-0,15	-0,17
Површина (cm ²)	0,93	0,93	*	-0,22	-0,01	0,18	-0,15	-0,08
Однос дужина/ширина	0,08	-0,52	-0,22	*	-0,05	-0,87	-0,21	-0,01
Флукутирајућа асиметрија	0,00	0,04	-0,01	-0,05	*	-0,01	-0,16	-0,16
Заобљеност	-0,16	0,38	0,18	-0,87	-0,01	*	0,45	0,33
Циркуларност	-0,30	-0,15	-0,15	-0,21	-0,16	0,45	*	0,82
Солидност	-0,20	-0,17	-0,08	-0,01	-0,16	0,33	0,82	*

Анализа варијансе показала је постојање статистички значајног ефекта селекционисане индивидуе на параметре листа цера (Wilks' $\lambda = 0,03$, $F = 4,90$, $p < 0,01$). Статистички значајне разлике биле су присутне између свих добијених параметара (табела 5).

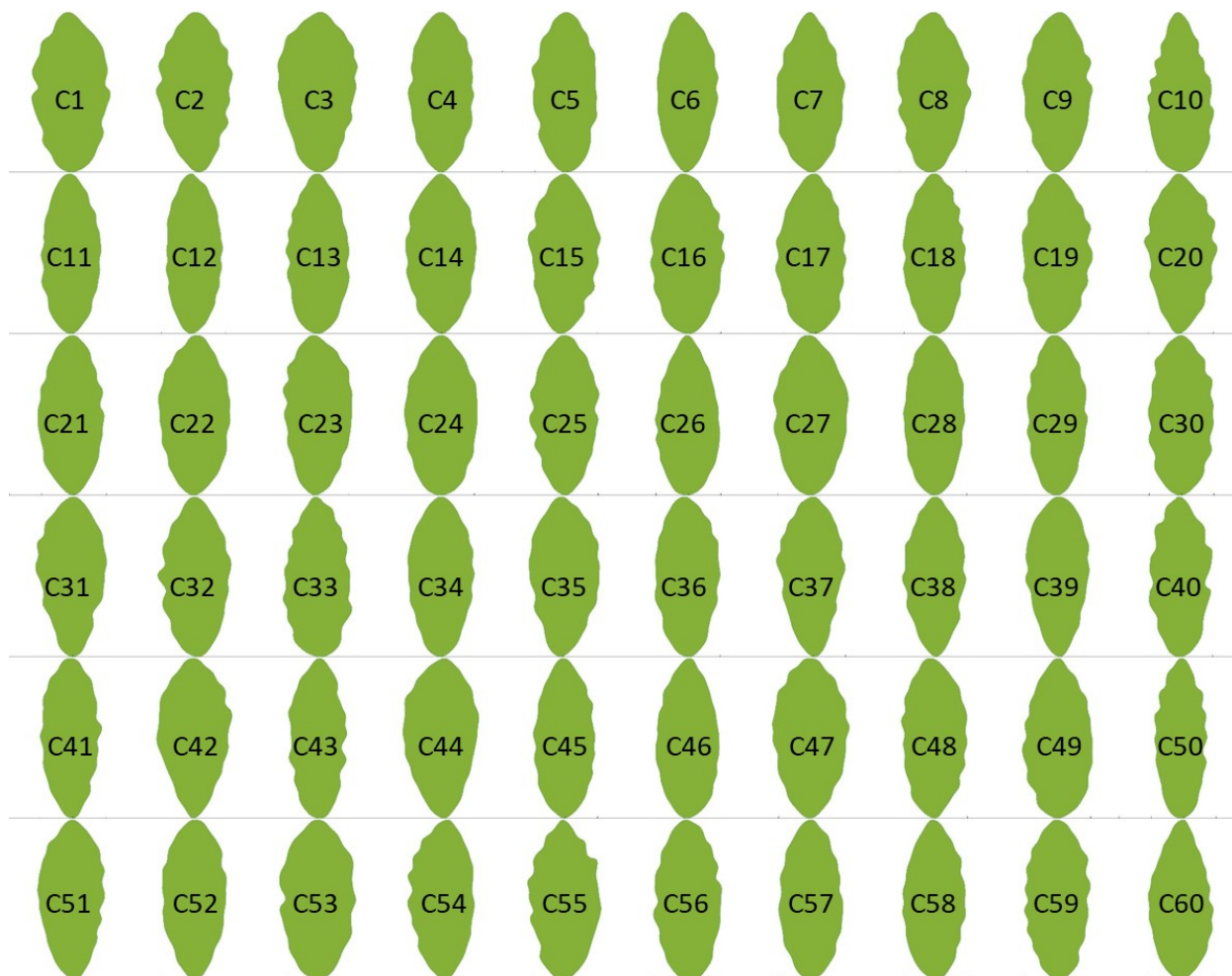
Табела 5. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа цера са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом

Параметар	F	p
Дужина (cm)	4,89	< 0,01
Ширина (cm)	5,68	< 0,01
Површина (cm ²)	4,43	< 0,01
Однос дужина/ширина	5,54	< 0,01
Флукутирајућа асиметрија	1,45	0,02
Заобљеност	6,11	< 0,01
Циркуларност	14,61	< 0,01
Солидност	14,66	< 0,01

Анализа гроздовања (кластер) резултовала је формирањем дендрограма који илуструје однос међу индивидуама цера на основу параметара листа (слика 16), док је елиптична Фуријеова анализа резултовала добијањем просечних контура листа за сваку индивидуу (слика 17).

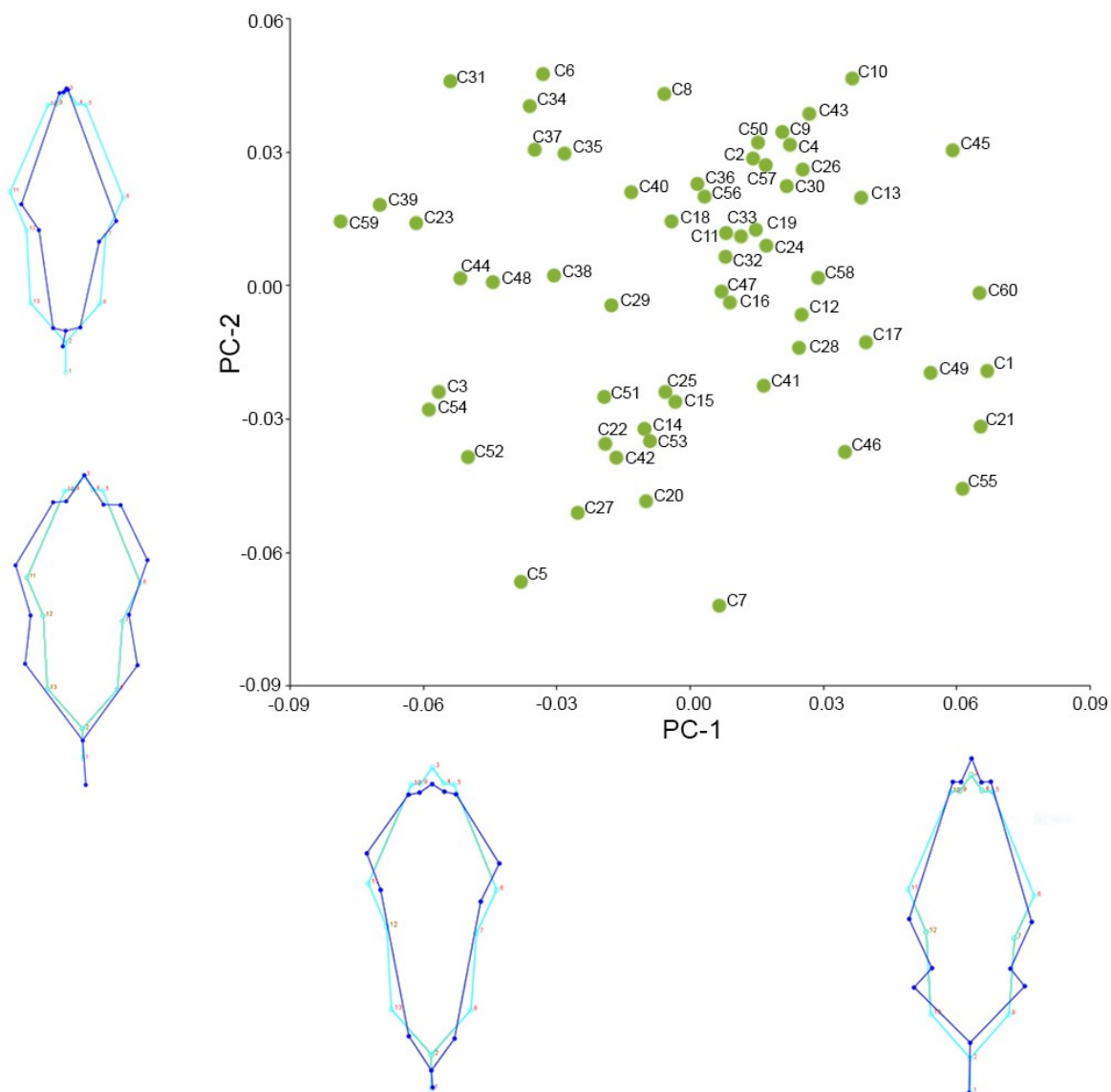


Слика 16. Дендрограм селекционисаних индивидуа цера добијен анализом гроздовања на основу параметара листа



Слика 17. Просечне контуре листа селекционисаних индивидуа цера добијене елиптичном Фуријеовом анализом

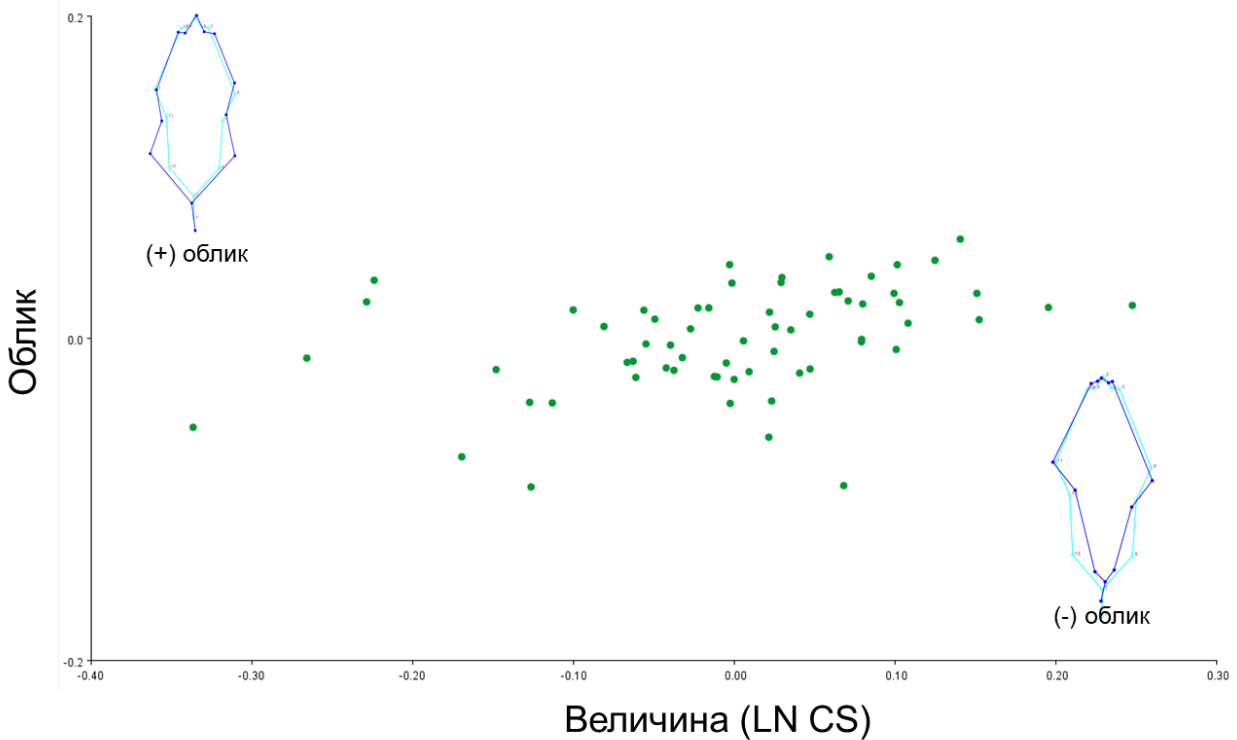
Специфичне тачке анализиране су анализом главних компоненти (PCA) која је показала да су прве четири осе описале 77,49% варијабилности (PC-1: 33,59%; PC-2: 22,63%, PC-3: 12,07%, PC-4: 8,20%). Ординација дуж прве две PC осе показала је одвајање селекционисаних индивидуа цера на основу варирања облика листа (слика 18).



Слика 18. Ординација селекционисаних индивидуа цера дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Прокрстова анализа варијансе показала је статистички значајан ефекат селекционисане индивидуе цера и на величину и на облик листа (величина центроида: $F = 4,09$, $p < 0,01$; облик: $F = 4,38$, $p < 0,01$).

Двоблоковска анализа парцијалних најмањих квадрата код цера (слика 19) показала је да селекционисане индивидуе које имају већу величину листа показују тенденцију поседовања ширег доњег дела лисне плоче, зашиљенијег вршног дела лисне плоче и дуже лисне дршке.



Слика 19. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика листа цера (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

4.1.1.2. Китњак

Дескриптивне статистичке анализе за дужину, ширину, површину, однос дужина/ширина, флукутирајућу асиметрију, заобљеност, циркуларност и солидност листа китњака приказане су у табели 6. Највећи коефицијент варијације забележен је за флукутирајућу асиметрију, указујући да је овај параметар највише варирао у узорку (од вредности 0, која указује на потпуно симетричне листове, до вредности од чак 0,81, која указује на значајне разлике између леве и десне стране листа). Параметар који се показао најстабилнијим (најмањи коефицијент варијације) била је солидност.

Табела 6. Дескриптивни статистички показатељи основних параметара листа китњака

	Средња вредност	Минимум	Максимум	Опсег	Стандардна девијација	Коефицијент варијације
Дужина (cm)	10,47	6,46	17,51	11,05	1,87	17,87
Ширина (cm)	6,62	3,58	12,97	9,39	1,40	21,12
Површина (cm ²)	43,46	15,87	123,96	108,09	15,77	36,28
Однос дужина/ширина	1,61	1,03	2,37	1,34	0,23	14,18
Флукутирајућа асиметрија	0,09	0,00	0,81	0,81	0,11	111,71
Заобљеност	0,50	0,31	0,80	0,49	0,08	15,57
Циркуларност	0,42	0,22	0,69	0,47	0,09	21,70
Солидност	0,87	0,77	0,94	0,17	0,03	3,37

Корелациона матрица добијена је коришћењем Пирсонових коефицијената корелације међу добијеним параметрима. Статистички значајне позитивне корелације приказане су плавом бојом у табели 7, док су статистички значајне негативне корелације приказане црвеном бојом. Уочено је да је већина параметара показала значајне корелације са другим параметрима, осим флукутирајуће асиметрије која је показала статистички значајне негативне корелације само са односом дужина/ширина и солидношћу и позитивну корелацију са заобљеношћу.

Табела 7. Корелације између параметара листа китњака

	Дужина (cm)	Ширина (cm)	Површина (cm ²)	Однос дужина/ширина	Флукутирајућа асиметрија	Заобљеност	Циркуларност	Солидност
Дужина (cm)	*	0,75	0,90	0,14	-0,06	-0,22	-0,37	-0,20
Ширина (cm)	0,75	*	0,93	-0,54	0,04	0,42	-0,35	-0,21
Површина (cm ²)	0,90	0,93	*	-0,25	-0,02	0,19	-0,29	-0,10
Однос дужина/ширина	0,14	-0,54	-0,25	*	-0,14	-0,89	0,07	0,08
Флукутирајућа асиметрија	-0,06	0,04	-0,02	-0,14	*	0,10	-0,03	-0,10
Заобљеност	-0,22	0,42	0,19	-0,89	0,10	*	0,17	0,22
Циркуларност	-0,37	-0,35	-0,29	0,07	-0,03	0,17	*	0,78
Солидност	-0,20	-0,21	-0,10	0,08	-0,10	0,22	0,78	*

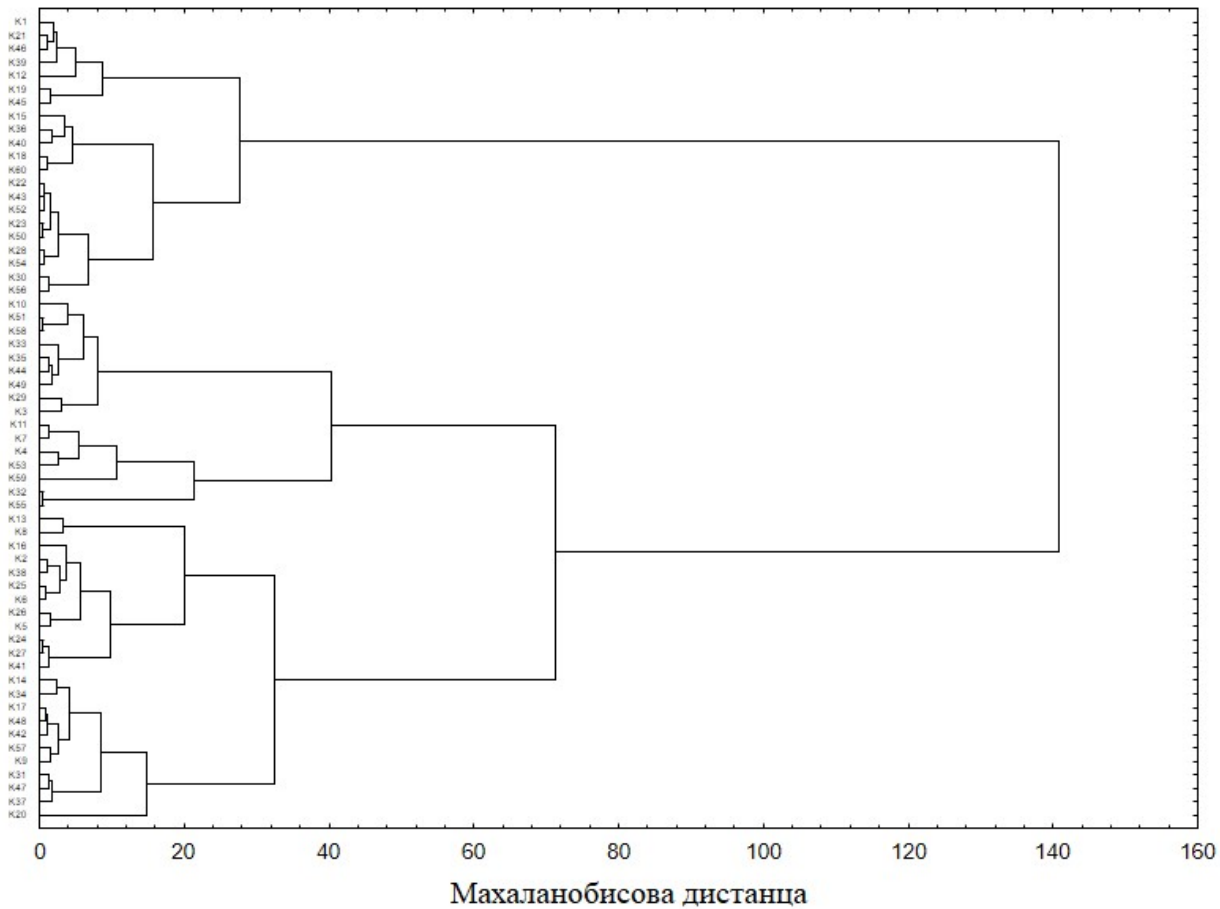
Анализа варијансе показала је постојање статистички значајног ефекта селекционисане индивидуе на параметре листа китњака (Wilks' $\lambda = 0,03$, $F = 4,70$, $p <$

0,01). Статистички значајне разлике биле су присутне између свих добијених параметара, осим флукутирајуће асиметрије (табела 8).

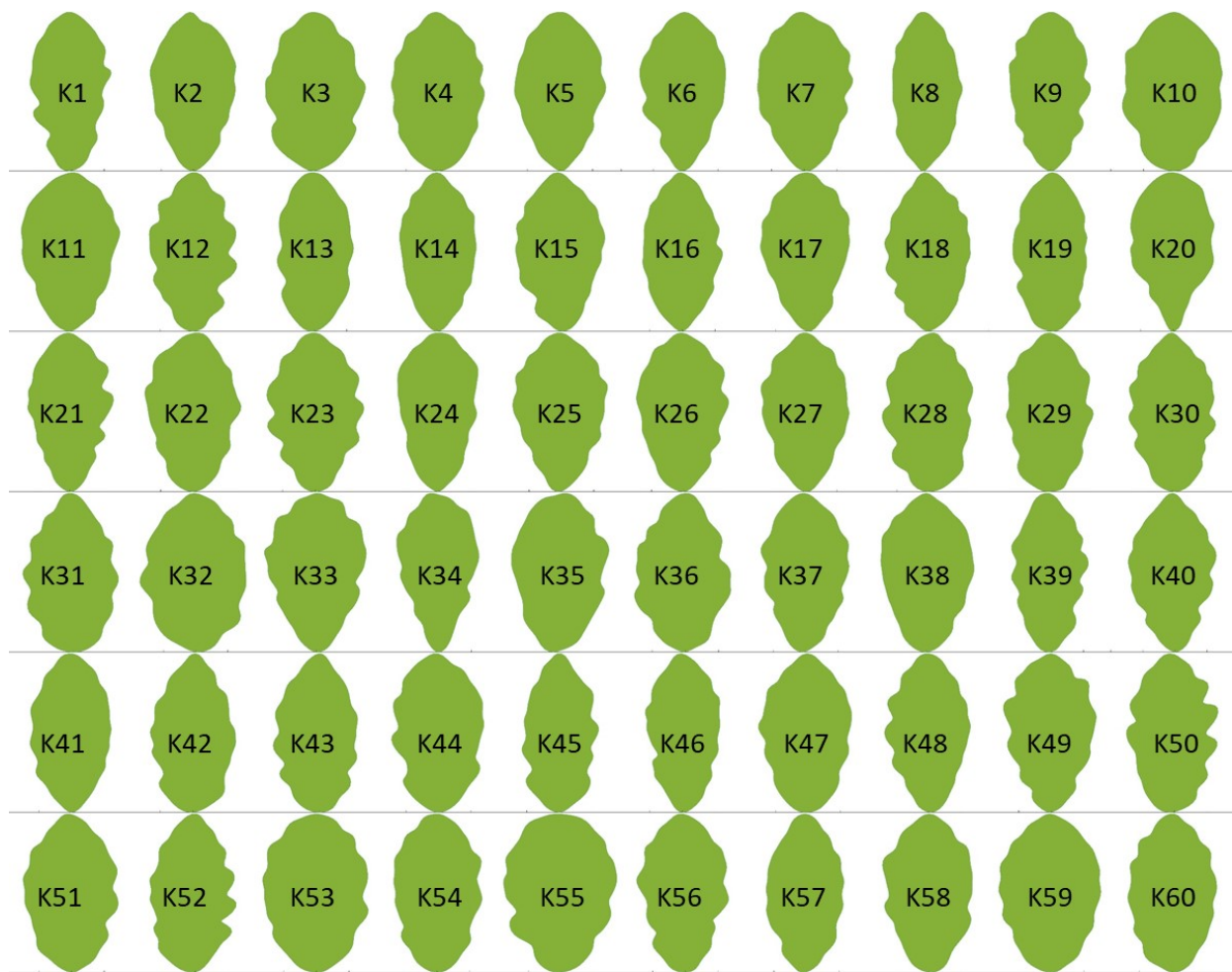
Табела 8. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа китњака са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом

Параметар	F	p
Дужина (cm)	3,03	< 0,01
Ширина (cm)	3,05	< 0,01
Површина (cm ²)	2,50	< 0,01
Однос дужина/ширина	6,37	< 0,01
Флукутирајућа асиметрија	0,71	0,95
Заобљеност	8,58	< 0,01
Циркуларност	14,49	< 0,01
Солидност	11,64	< 0,01

Анализа гроздовања (кластер) резултовала је формирањем дендрограма који илуструје однос међу индивидуама китњака на основу параметара листа (слика 20), док је елиптична Фуријеова анализа резултовала добијањем просечних контура листа за сваку индивидуу (слика 21).

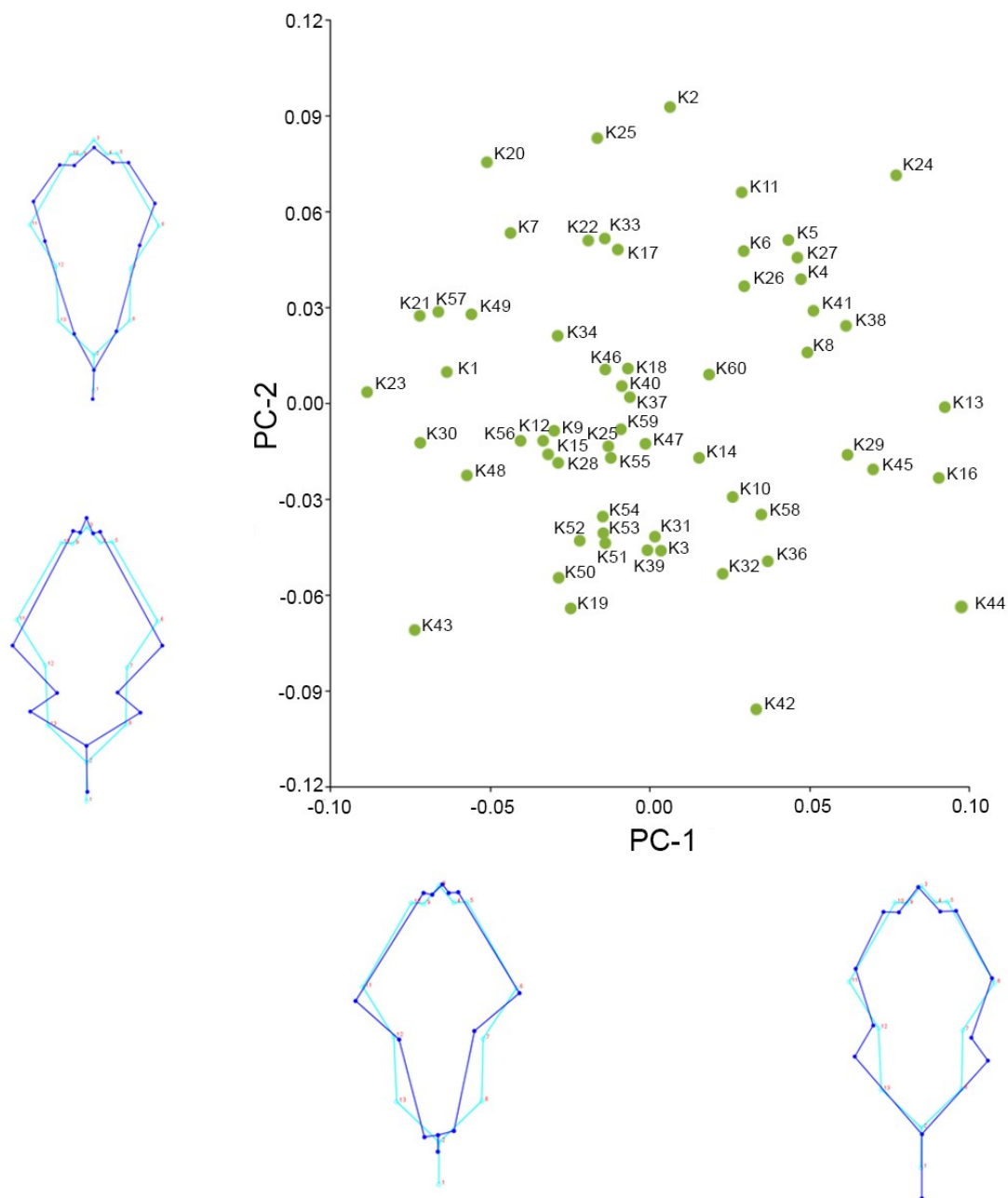


Слика 20. Дендрограм селекционисаних индивидуа китњака добијен анализом гроздовања на основу параметара листа



Слика 21. Просечне контуре листа селекционисаних индивидуа китњака добијене елиптичном Фуријеовом анализом

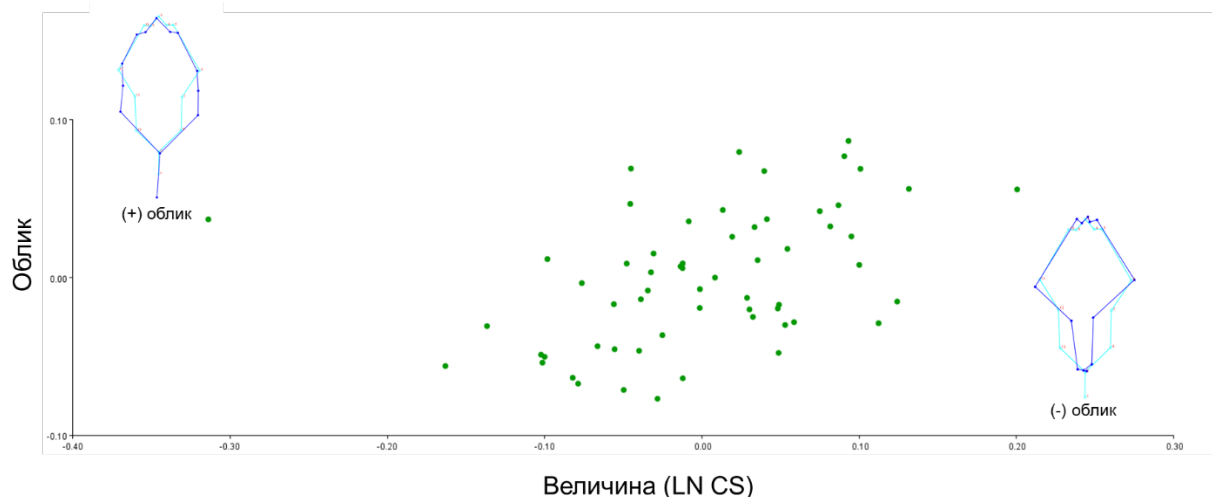
Специфичне тачке анализиране су анализом главних компоненти (PCA) која је показала да су прве четири осе описале 79,85% варијабилности (PC-1: 29,25%; PC-2: 25,94%, PC-3: 13,18%, PC-4: 11,48%). Ординација прве две PC осе показала је одвајање селекционисаних индивидуа китњака на основу варирања облика листа (слика 22).



Слика 22. Ординација селекционисаних индивидуа китњака дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Прокурстова анализа варијансе показала је статистички значајан ефекат селекционисане индивидуе китњака и на величину и на облик листа (величина центроида: $F = 2,83, p < 0,01$; облик: $F = 4,99, p < 0,01$).

Двоблоковска анализа парцијалних најмањих квадрата код китњака (слика 23) показала је да селекционисане индивидуе које имају већу величину листа показују тенденцију поседовања шире лисне плоче и дуже лисне дршке.



Слика 23. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика листа китњака (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

4.1.1.3. Медунац

Дескриптивне статистичке анализе за дужину, ширину, површину, однос дужина/ширина, флукутирајућу асиметрију, заобљеност, циркуларност и солидност листа медунца приказане су у табели 9. Највећи коефицијент варијације забележен је за флукутирајућу асиметрију, указујући да је овај параметар највише варирао у узорку (од вредности 0 која указује на потпуно симетричне листове, до вредности од чак 0,96 која указује на значајне разлике између леве и десне стране листа). Параметар који се показао најстабилнијим (најмањи коефицијент варијације) била је солидност.

Табела 9. Дескриптивни статистички показатељи основних параметара листа медунца

	Средња вредност	Минимум	Максимум	Опсег	Стандардна девијација	Коефицијент варијације
Дужина (cm)	8,69	4,69	13,63	8,94	1,40	16,10
Ширина (cm)	5,90	2,99	11,99	9,00	1,20	20,39
Површина (cm ²)	32,67	12,08	105,79	93,71	10,96	33,56
Однос дужина/ширина	1,50	0,94	2,39	1,45	0,23	15,38
Флукутирајућа асиметрија	0,11	0,00	0,96	0,96	0,13	114,72
Заобљеност	0,54	0,31	0,89	0,58	0,09	16,49
Циркуларност	0,45	0,21	0,89	0,68	0,11	23,77
Солидност	0,87	0,74	1,00	0,25	0,04	4,07

Корелациона матрица добијена је коришћењем Пирсонових коефицијената корелације међу добијеним параметрима. Статистички значајне позитивне корелације приказане су плавом бојом у табели 10, док су статистички значајне негативне корелације приказане црвеном бојом. Уочено је да већина параметара показује значајне корелације са другим параметрима, осим флукутирајуће асиметрије.

Табела 10. Корелације између параметара листа медунца

	Дужина (cm)	Ширина (cm)	Површина (cm ²)	Однос дужина/ширина	Флукутирајућа асиметрија	Заобљеност	Циркуларност	Солидност
Дужина (cm)	*	0,68	0,86	0,16	0,02	-0,25	-0,31	-0,15
Ширина (cm)	0,68	*	0,92	-0,59	0,07	0,46	-0,32	-0,15
Површина (cm ²)	0,86	0,92	*	-0,29	0,04	0,25	-0,22	-0,00
Однос дужина/ширина	0,16	-0,59	-0,29	*	-0,07	-0,88	0,09	0,05
Флукутирајућа асиметрија	0,02	0,07	0,04	-0,07	*	0,05	-0,05	0,00
Заобљеност	-0,25	0,46	0,25	-0,88	0,05	*	0,19	0,29
Циркуларност	-0,31	-0,32	-0,22	0,09	-0,05	0,19	*	0,81
Солидност	-0,15	-0,15	-0,00	0,05	0,00	0,29	0,81	*

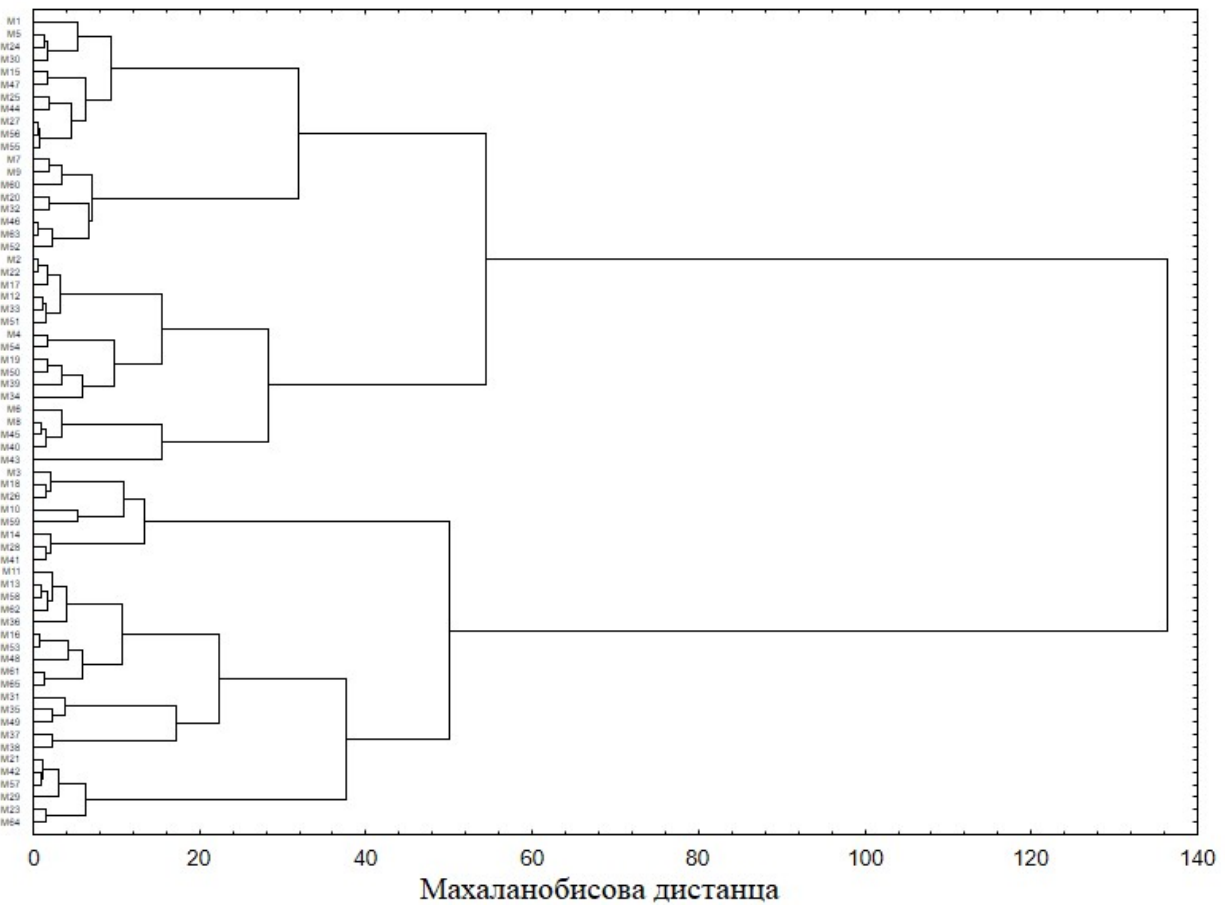
Анализа варијансе показала је постојање статистички значајног ефекта селекционисане индивидуе на параметре листа медунца (Wilks' $\lambda = 0,03$, $F = 5,10$ $p < 0,01$).

Статистички значајне разлике биле су присутне између свих добијених параметара, осим флукутирајуће асиметрије (табела 11).

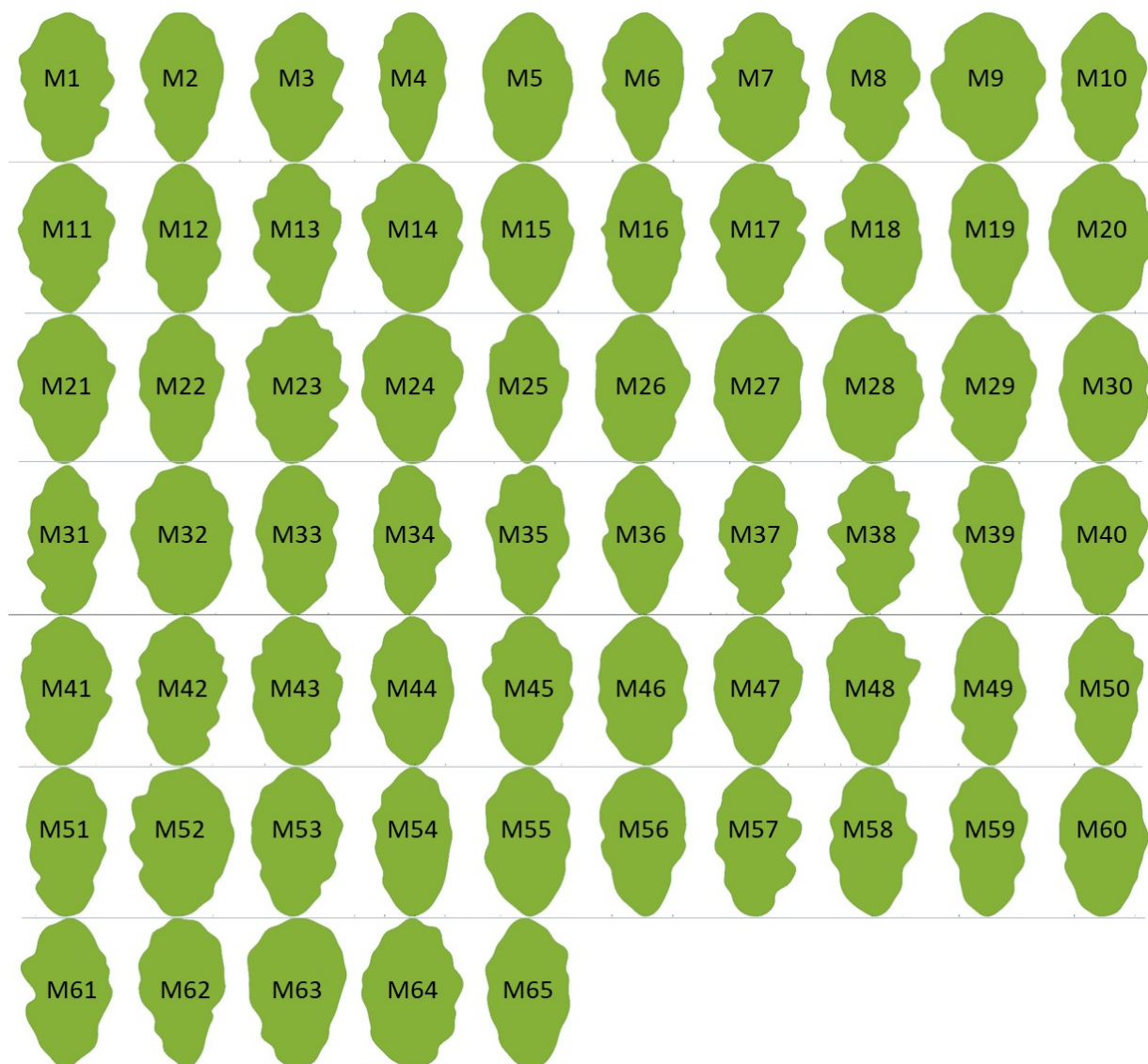
Табела 11. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа медунца са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом

Параметар	F	p
Дужина (cm)	9,50	< 0,01
Ширина (cm)	5,90	< 0,01
Површина (cm ²)	6,69	< 0,01
Однос дужина/ширина	5,88	< 0,01
Флукутирајућа асиметрија	1,32	0,05
Заобљеност	7,27	< 0,01
Циркуларност	15,63	< 0,01
Солидност	10,90	< 0,01

Анализа гроздовања (кластер) резултовала је формирањем дендрограма који илуструје однос међу индивидуама медунца на основу параметара листа (слика 24), док је Елиптична Фуријеова анализа резултовала добијањем просечних контура листа за сваку индивидуу (слика 25).

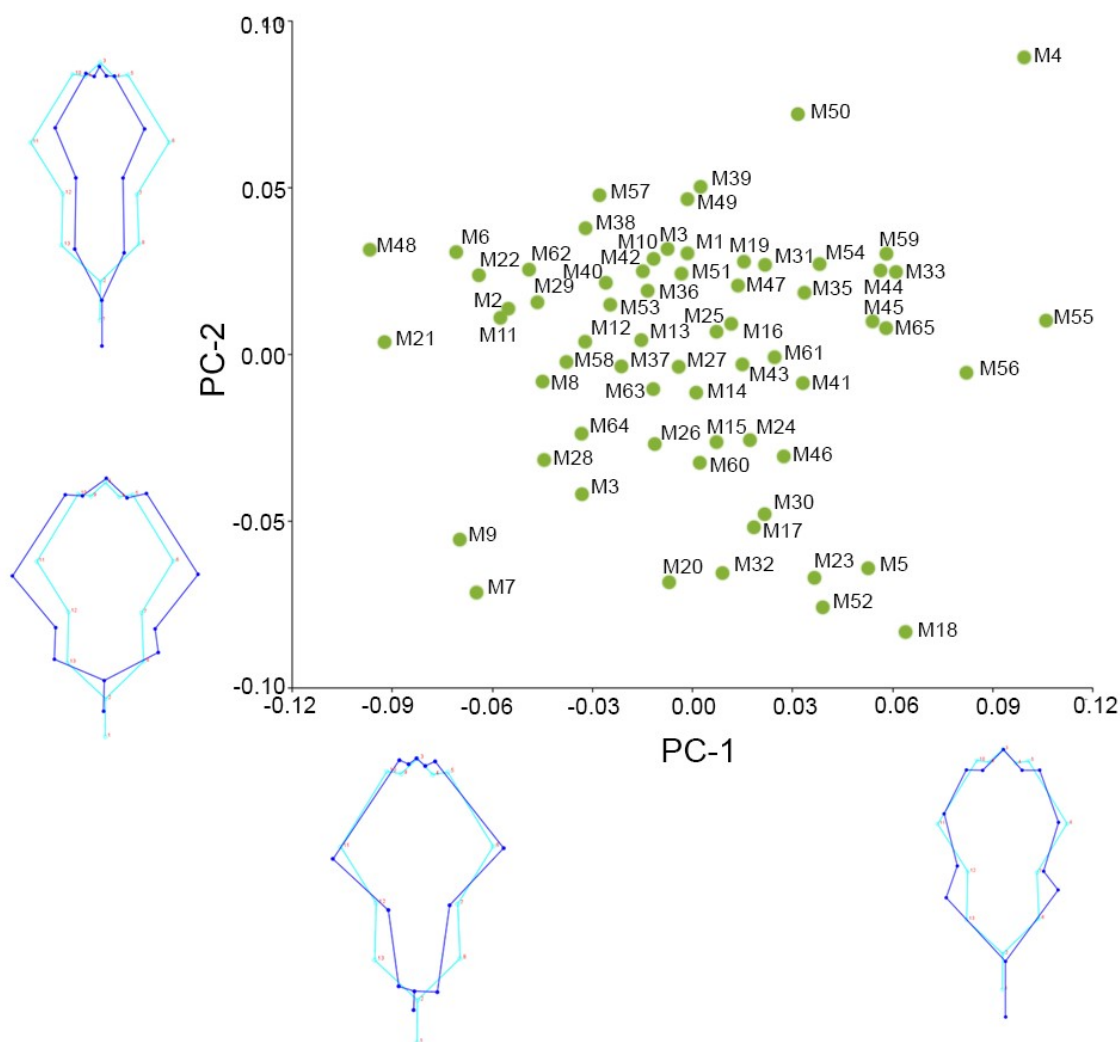


Слика 24. Дендрограм селекционисаних индивидуа медунца добијен анализом гроздовања на основу параметара листа



Слика 25. Просечне контуре листа селекционисаних индивида медунца добијене елиптичном Фуријеовом анализом

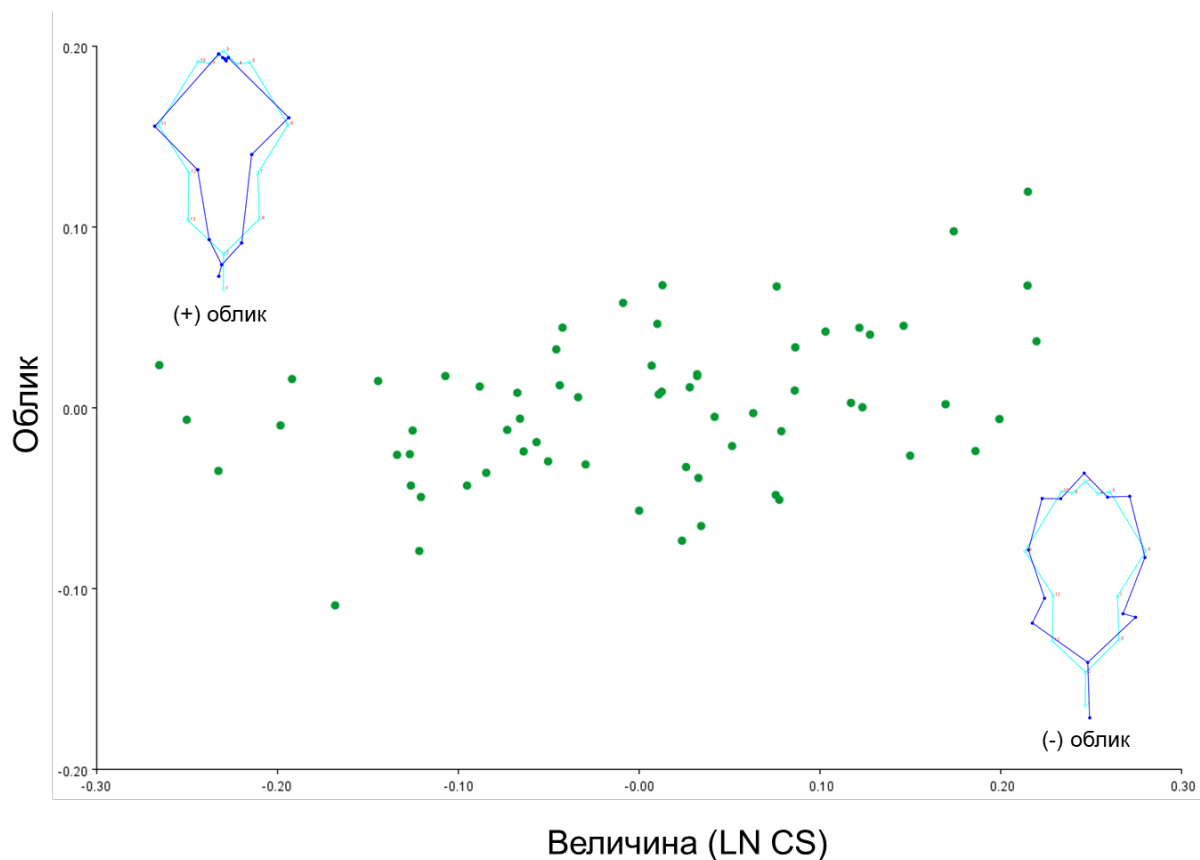
Специфичне тачке анализиране су преко главних компоненти (PCA) што је показало да су прве четири осе описале 72,98% варијабилности (PC-1: 29,91%; PC-2: 21,09%, PC-3: 13,70%, PC-4: 8,29%). Ординација дуж прве две PC осе показала је одвајање селекционисаних индивида медунца на основу варирања облика листа (слика 26).



Слика 26. Ординација селекционисаних индивидуа медунца дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Прокрустова анализа варијансе показала је статистички значајан ефекат селекционисане индивидуе медунца и на величину и на облик листа (величина центроида: $F = 9,37$, $p < 0,01$; облик: $F = 4,71$, $p < 0,01$).

Двоблоковска анализа парцијалних најмањих квадрата код медунца (слика 27) показала је да селекционисане индивидуе које имају већу величину листа показују тенденцију поседовања уже лисне плоче и краће лисне дршке.



Слика 27. Ординација селекционисаних индивида добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика листа медунца (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

4.1.1.4. Сладун

Дескриптивне статистичке анализе за дужину, ширину, површину, однос дужина/ширина, флукутирајућу асиметрију, заобљеност, циркуларност и солидност листа сладуна приказане су у табели 12. Највећи коефицијент варијације забележен је за флукутирајућу асиметрију, указујући да је овај параметар највише варирао у узорку (од вредности 0 која указује на потпуно симетричне листове, до вредности од 0,78 која указује на значајне разлике између леве и десне стране листа). Параметар који се показао најстабилнијим (најмањи коефицијент варијације) била је солидност.

Табела 12. Дескриптивни статистички показатељи основних параметара листа сладуна

	Средња вредност	Минимум	Максимум	Опсег	Стандардна девијација	Коефицијент варијације
Дужина (cm)	14,40	7,61	23,43	15,82	2,86	19,84
Ширина (cm)	9,39	5,02	15,28	10,25	2,03	21,66
Површина (cm ²)	80,47	25,20	206,98	181,78	32,04	39,81
Однос дужина/ширина	1,55	0,98	2,33	1,35	0,22	14,04
Флукутирајућа асиметрија	0,11	0,00	0,78	0,78	0,12	112,10
Заобљеност	0,48	0,26	0,85	0,58	0,08	15,92
Циркуларност	0,27	0,12	0,54	0,42	0,07	26,27
Солидност	0,83	0,68	0,91	0,23	0,03	4,09

Корелациона матрица, добијена је коришћењем Пирсонових коефицијената корелације међу добијеним параметрима. Статистички значајне позитивне корелације приказане су плавом бојом у табели 13, док су статистички значајне негативне корелације приказане црвеном бојом. Уочено је да већина параметара показује значајне корелације са другим параметрима, осим флукутирајуће асиметрије, која је показала статистички значајне позитивне корелације са ширином, а негативне са односом дужина/ширина.

Табела 13. Корелације између параметара листа сладуна

	Дужина (cm)	Ширина (cm)	Површина (cm ²)	Однос дужина/ширина	Флукутирајућа асиметрија	Заобљеност	Циркуларност	Солидност
Дужина (cm)	*	0,79	0,91	0,19	0,04	-0,20	-0,30	0,08
Ширина (cm)	0,79	*	0,94	-0,44	0,09	0,39	-0,24	0,15
Површина (cm ²)	0,91	0,94	*	-0,17	0,08	0,19	-0,20	0,23
Однос дужина/ширина	0,19	-0,44	-0,17	*	-0,09	-0,90	-0,04	-0,11
Флукутирајућа асиметрија	0,04	0,09	0,08	-0,09	*	0,07	0,03	0,02
Заобљеност	-0,20	0,39	0,19	-0,90	0,07	*	0,25	0,39
Циркуларност	-0,30	-0,24	-0,20	-0,04	0,03	0,25	*	0,59
Солидност	0,08	0,15	0,23	-0,11	0,02	0,39	0,59	*

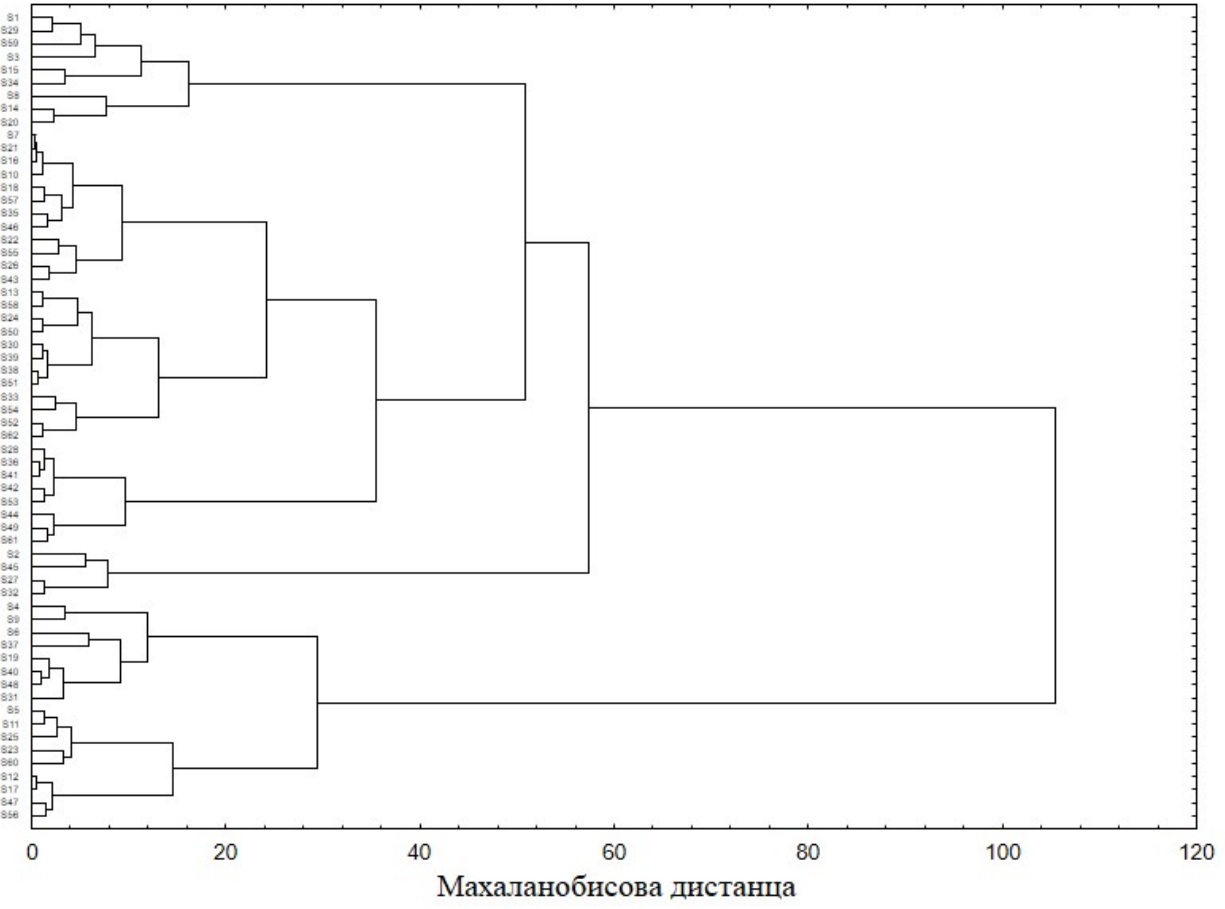
Анализа варијансе показала је постојање статистички значајног ефекта селекционисане индивидуе на параметре листа сладуна (Wilks' $\lambda = 0,04$, $F = 4,70$, $p < 0,01$).

Статистички значајне разлике биле су присутне између свих добијених параметара, осим флукутирајуће асиметрије (табела 14).

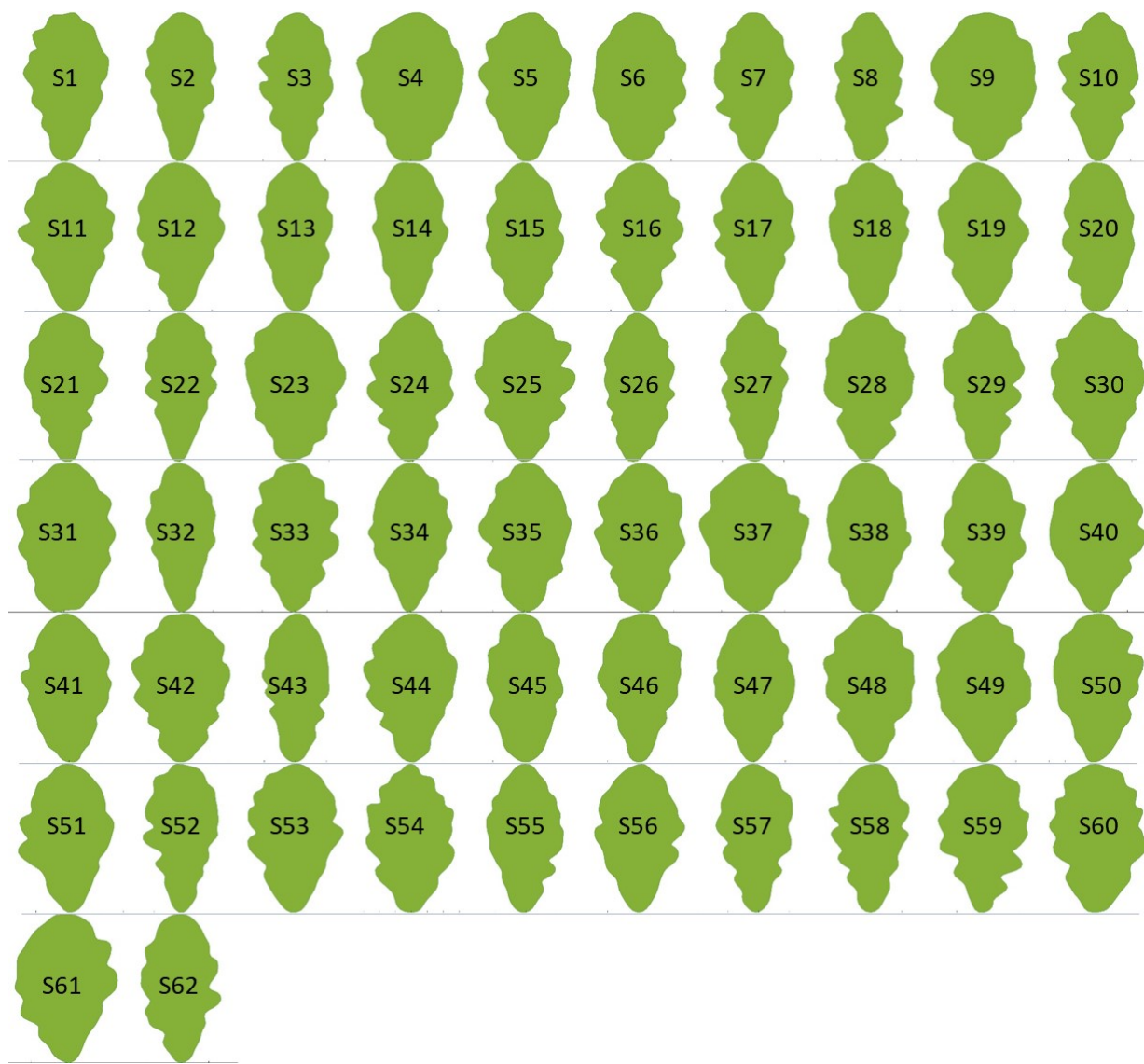
Табела 14. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа сладуна са селекционисаном индивидуом као групишућом променљивом

Параметар	F	p
Дужина (cm)	4,65	< 0,01
Ширина (cm)	4,40	< 0,01
Површина (cm ²)	3,95	< 0,01
Однос дужина/ширина	8,38	< 0,01
Флукутирајућа асиметрија	1,03	0,41
Заобљеност	9,93	< 0,01
Циркуларност	9,90	< 0,01
Солидност	10,60	< 0,01

Анализа гроздовања (кластер) резултовала је формирањем дендрограма који илуструје однос међу индивидуама сладуна на основу параметара листа (Слика 28), док је Елиптична Фуријеова анализа резултовала добијањем просечних контура листа за сваку индивидуу (слика 29).

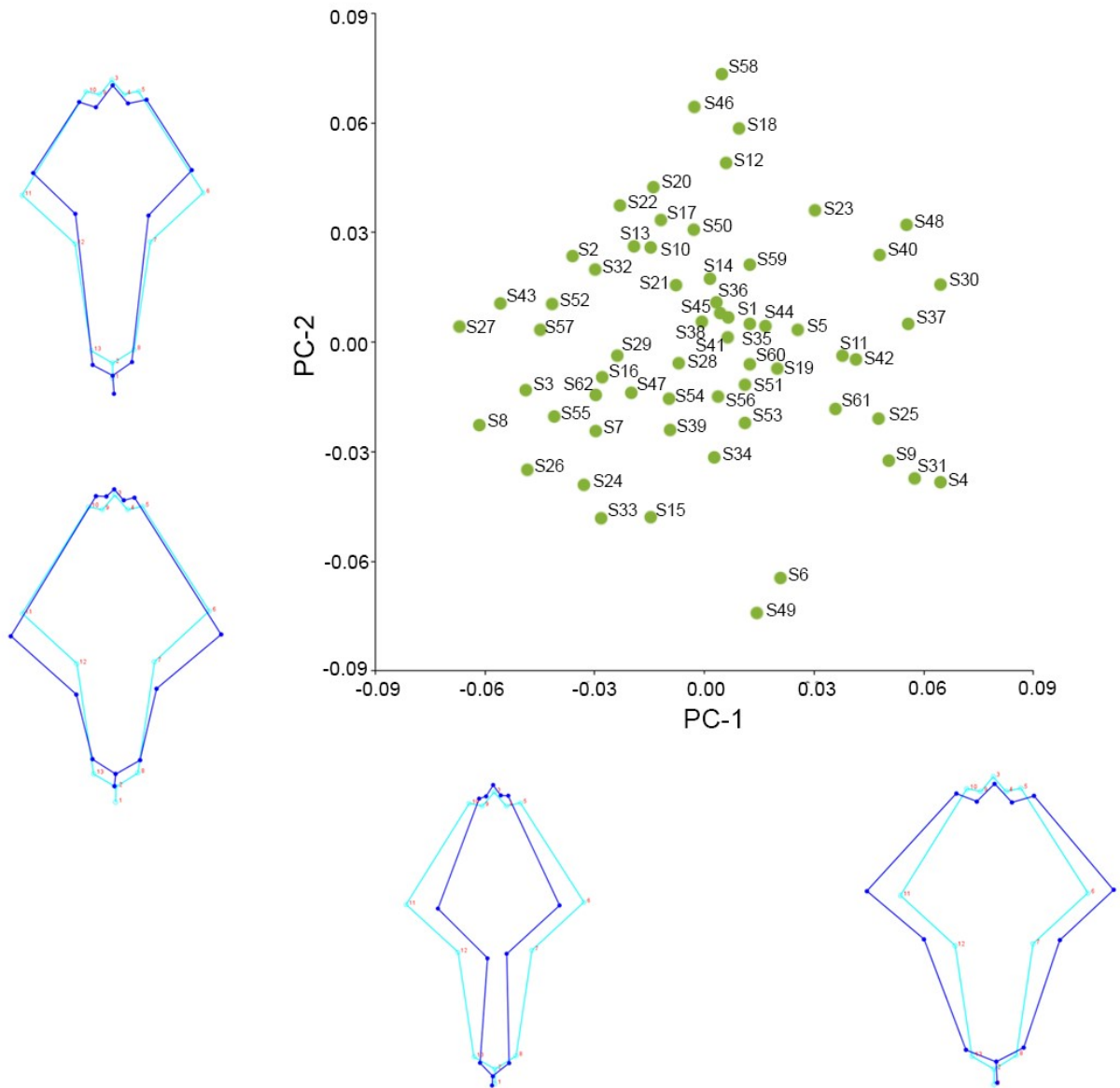


Слика 28. Дендрограм селекционисаних индивидуа сладуна добијен анализом гроздовања на основу параметара листа



Слика 29. Просечне контуре листа селекционисаних индивидуа сладуна добијене елиптичном Фуријеовом анализом

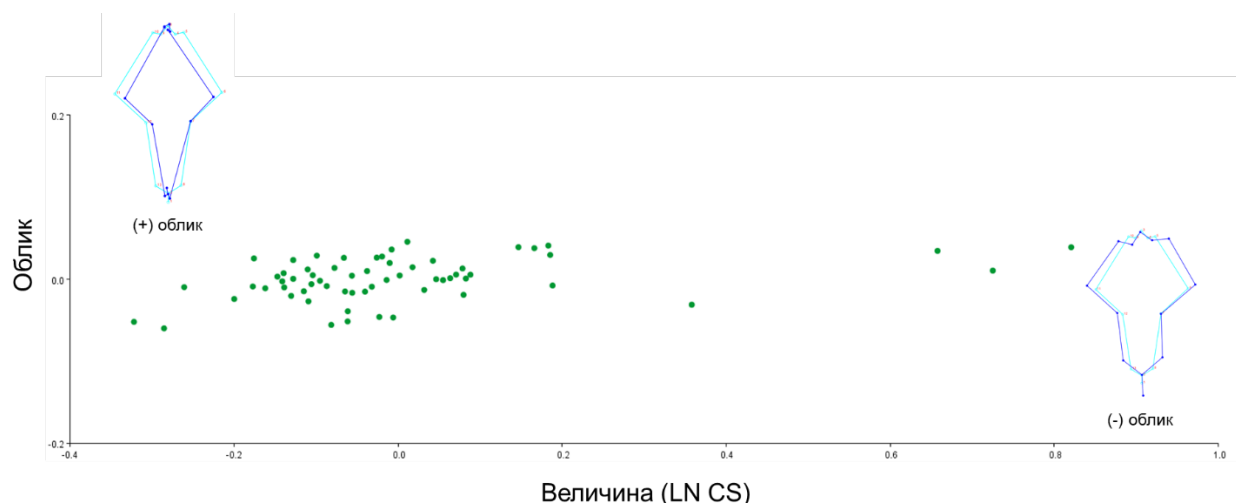
Специфичне тачке анализиране су анализом главних компоненти (PCA) која је показала да су прве четири осе описале 78,72% варијабилности (PC-1: 29,71%; PC-2: 25,13%, PC-3: 13,18%, PC-4: 10,70%). Ординација дуж прве две PC осе показала је одвајање селекционисаних индивидуа сладуна на основу варирања облика листа (слика 30).



Слика 30. Ординација селекционисаних индивидуа сладуна дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Прокрстова анализа варијансе показала је статистички значајан ефекат селекционисане индивидуе сладуна и на величину и на облик листа (величина центроида: $F = 19,81$, $p < 0,01$; облик: $F = 2,73$, $p < 0,01$).

Двоблоковска анализа парцијалних најмањих квадрата код сладуна (слика 31) показала је мали утицај величине на облик листа.



Слика 31. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика листа сладуна (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

4.1.2. Међуврсна варијабилност

Корелациона матрица, добијена је коришћењем Пирсонових коефицијената корелације међу добијеним параметрима. Статистички значајне позитивне корелације приказане су плавом бојом у табели 15, док су статистички значајне негативне корелације приказане црвеном бојом. Уочено је да већина параметара показује значајне корелације са другим параметрима, осим флукутирајуће асиметрије.

Табела 15. Корелације између параметара листа свих врста хрстова

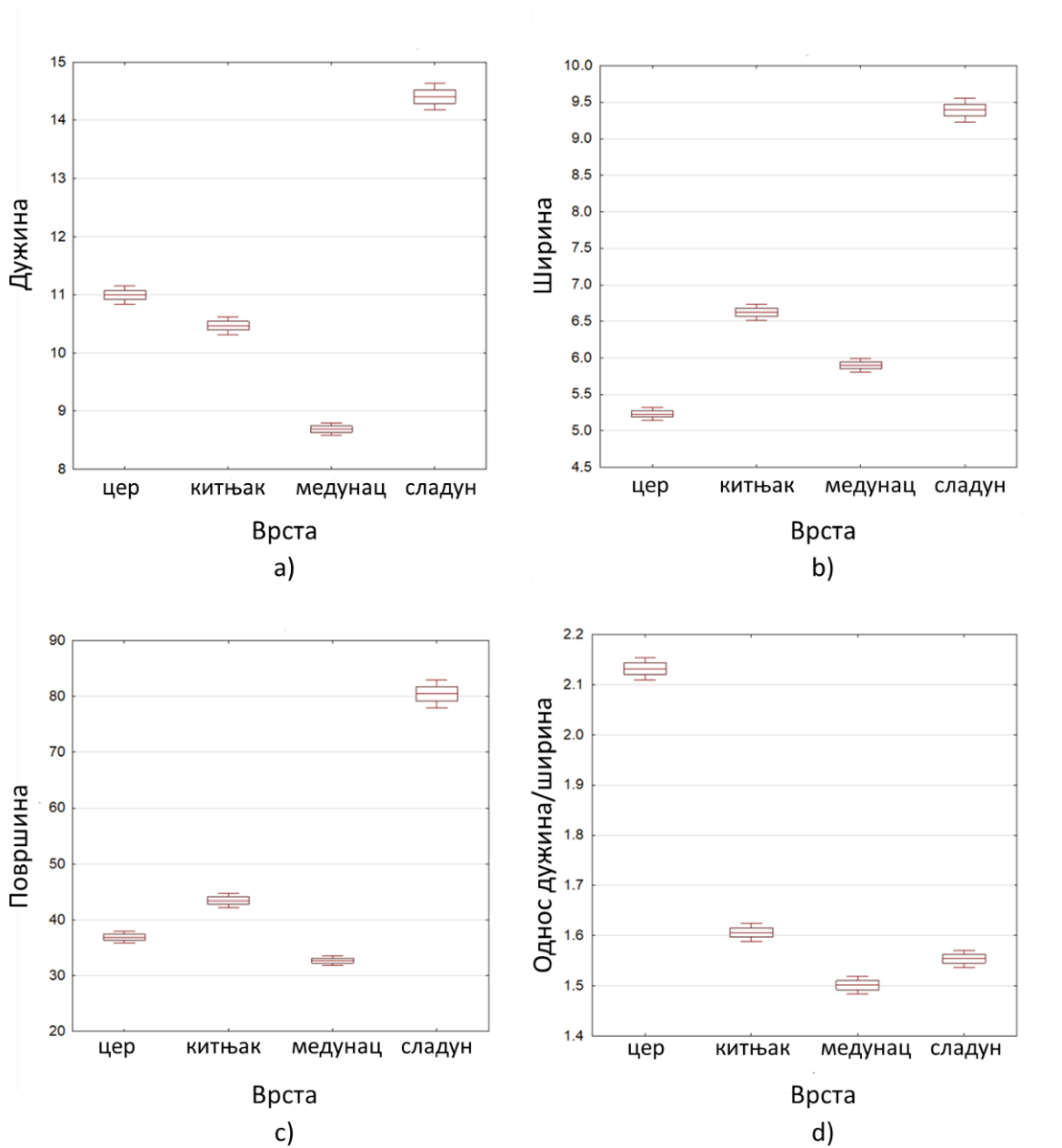
	Дужина (cm)	Ширина (cm)	Површина (cm ²)	Однос дужина/ширина	Флукутирајућа асиметрија	Заобљеност	Циркуларност	Солидност
Дужина (cm)	*	0,80	0,92	0,07	0,00	-0,25	-0,59	-0,33
Ширина (cm)	0,80	*	0,94	-0,51	0,03	0,33	-0,59	-0,39
Површина (cm ²)	0,92	0,94	*	-0,25	0,02	0,10	-0,54	-0,29
Однос дужина/ширина	0,07	-0,51	-0,25	*	-0,03	-0,89	0,14	0,21
Флукутирајућа асиметрија	0,00	0,03	0,02	-0,03	*	0,03	-0,03	-0,03
Заобљеност	-0,25	0,33	0,10	-0,89	0,03	*	0,13	0,11
Циркуларност	-0,59	-0,59	-0,54	0,14	-0,03	0,13	*	0,80
Солидност	-0,33	-0,39	-0,29	0,21	-0,03	0,11	0,80	*

Анализа варијансе показала је постојање статистички значајног ефекта врсте на параметре листа ($Wilks' \lambda = 0,17$, $F = 252,30$, $p < 0,01$). Статистички значајне разлике биле су присутне између свих добијених параметара (табела 16).

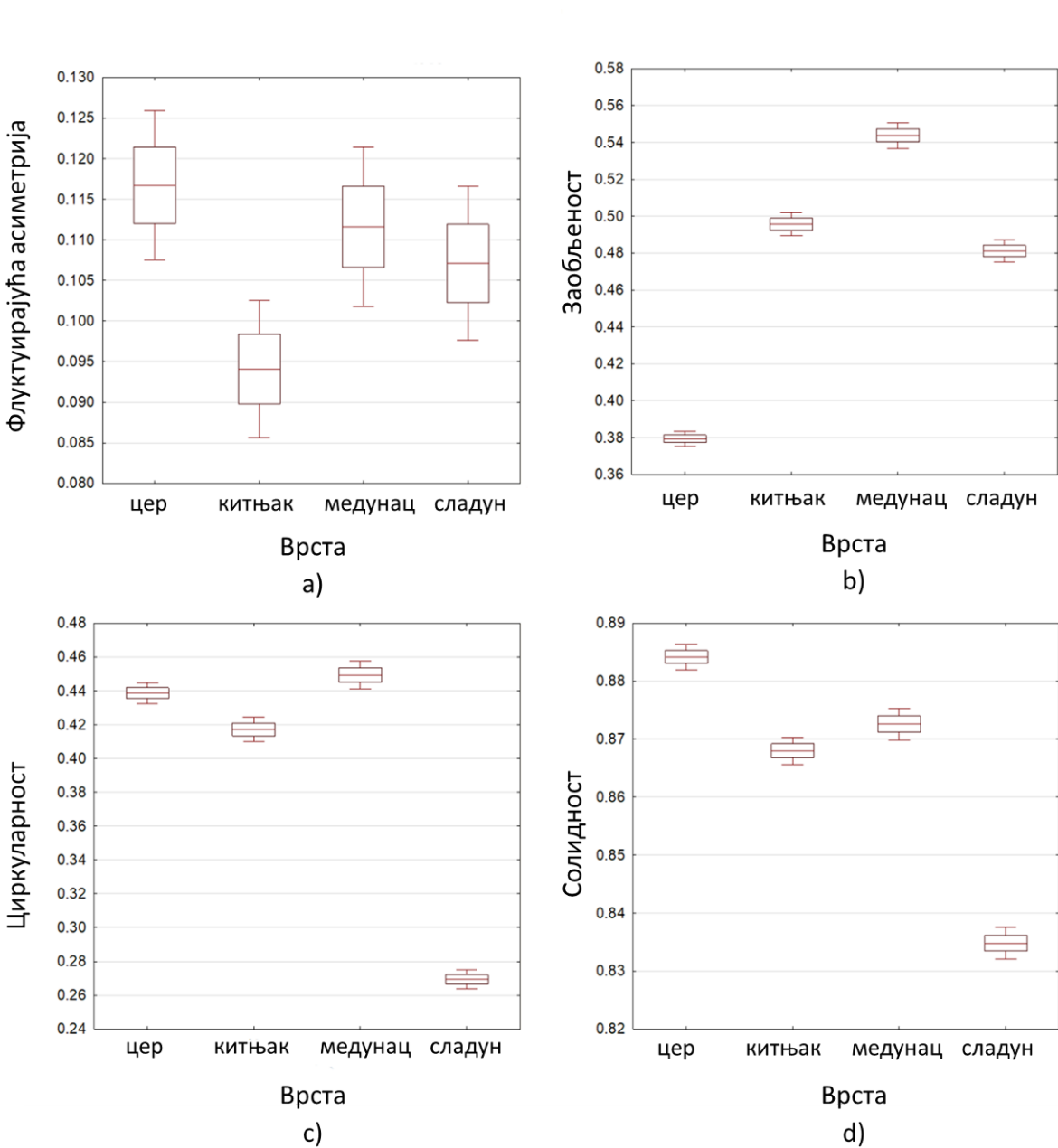
Табела 16. Резултати анализе варијансе (F и p вредности) за параметре листа са врстом као групишућом променљивом

Параметар	F	p
Дужина (cm)	826,43	< 0,01
Ширина (cm)	946,83	< 0,01
Површина (cm ²)	759,76	< 0,01
Однос дужина/ширина	914,70	< 0,01
Флуктуирајућа асиметрија	4,103	0,01
Заобљеност	523,06	< 0,01
Циркуларност	569,96	< 0,01
Солидност	272,00	< 0,01

Највеће вредности дужине и површине листа забележене су за сладун, а најмање за медунац (слика 32а, с), док је највеће вредности ширине такође имао сладун, а најмање цер (слика 32b). Највеће вредности односа дужина/ширина имао је цер, а најмање медунац (слика 32d). Највеће вредности флуктуирајуће асиметрије забележене су за цер, а најмање за китњак (слика 33а). Медунац је имао највеће вредности заобљености, док су најмање вредности овог параметра забележене код цера (слика 33b). Највеће вредности циркуларности забележене су код медунаца, а најмање код сладуна (слика 33с). Највеће вредности солидности опсервиране су код цера, а најмање код сладуна (слика 33d).

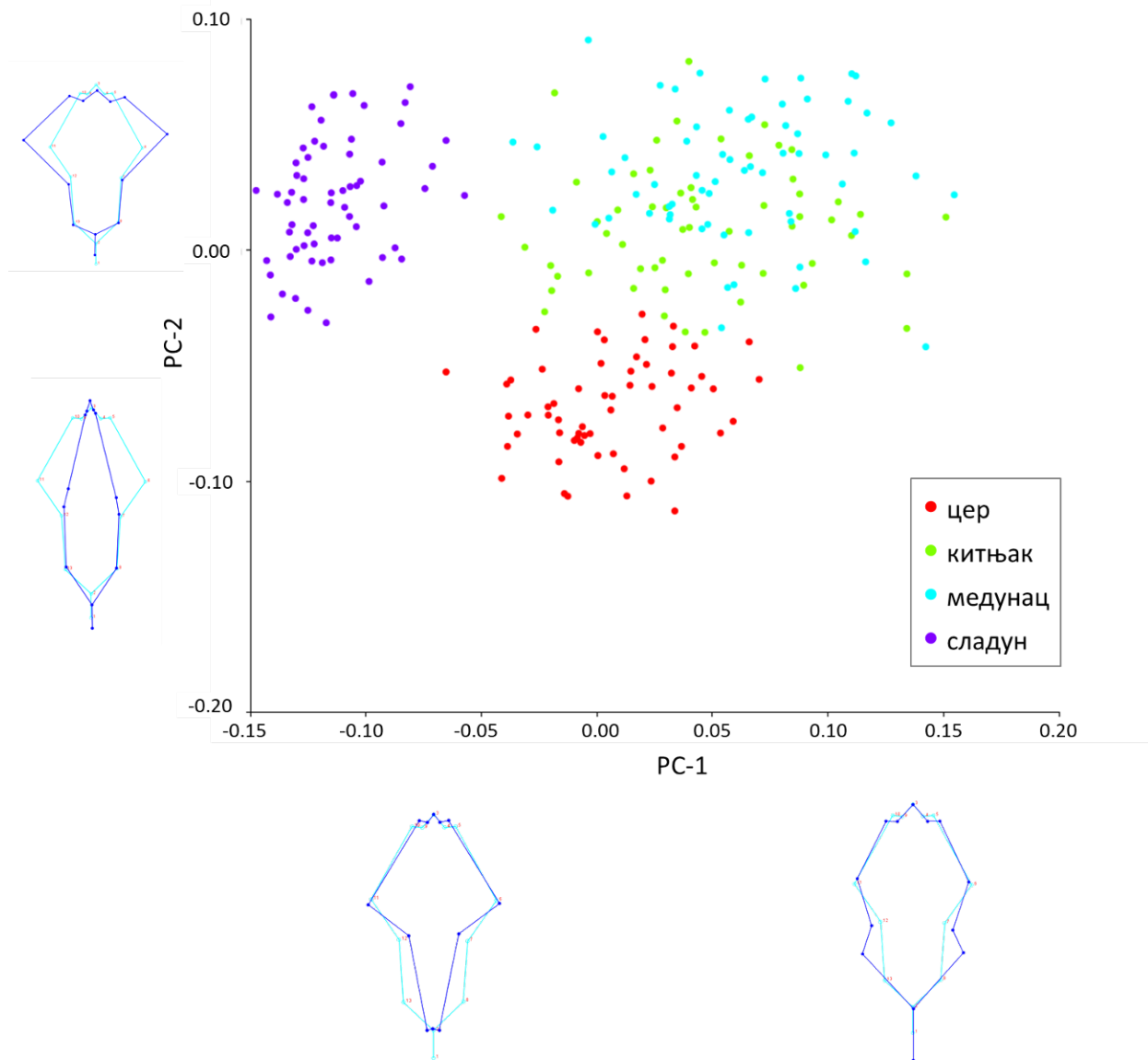


Слика 32. Средња вредност, стандардна грешка и 95% интервал поверења за а) дужину, б) ширину, в) површину и г) однос дужина/ширина код цера, китњака, медунаца и сладуна



Слика 33. Средња вредност, стандардна грешка и 95% интервал поверења за а) флуктуирајућу асиметрију, б) заобљеност, в) циркуларност и д) солидност код цера, китњака, медунаца и сладуна

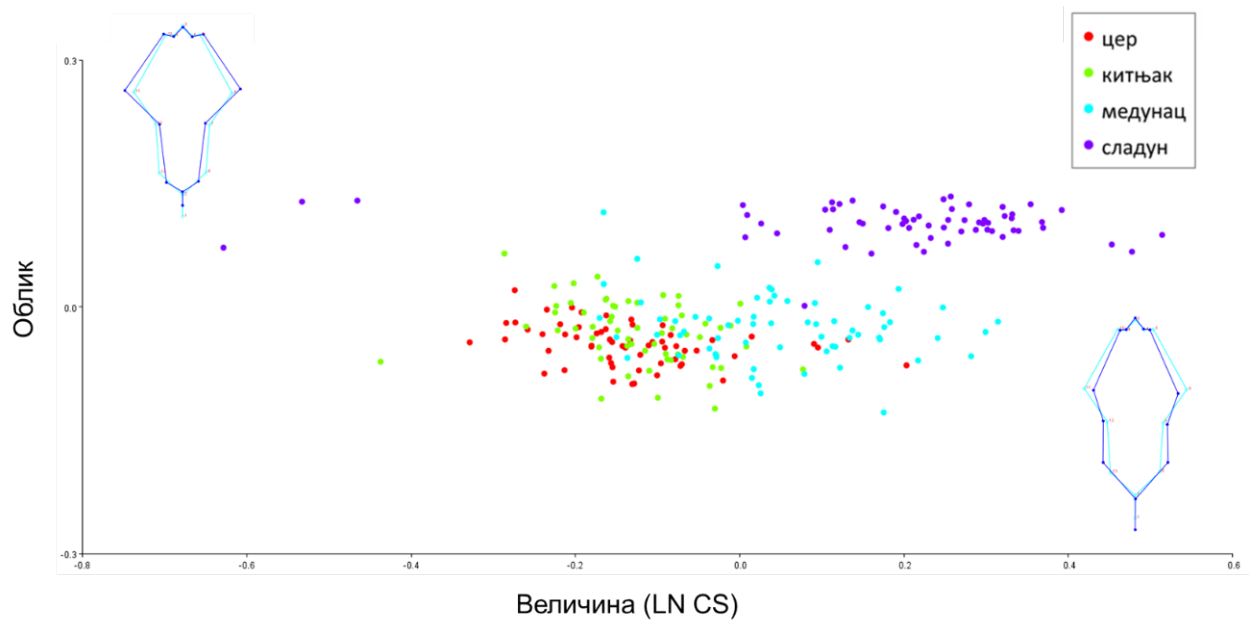
Специфичне тачке анализиране су преко главних компоненти (PCA) што је показало да су прве четири осе описале 87,27% варијабилности (PC-1: 52,02%; PC-2: 19,37%, PC-3: 10,08%, PC-4: 5,81%). Ординација дуж прве две PC осе показала је груписање селекционисаних индивидуа сладуна на основу уског доњег и широког горњег дела лисне плоче и кратке лисне дршке. Цер се одвојио од осталих врста на основу уске и зашиљене лисне плоче. Медунац и китњак су имали дужу лисну дршку и мању разлику у ширини горњег и доњег дела лисне плоче (слика 34).



Слика 34. Ординација селекционисаних индивидуа четири врсте храста дуж прве (PC-1) и друге (PC-2) осе, са приказом промена облика листа (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

Прокрустова анализа варијансе показала је статистички значајан ефекат врсте на величину и на облик листа (величина центроида: $F = 102,49$, $p < 0,001$; облик: $F = 60,04$, $p < 0,001$).

Двоблоковска анализа парцијалних најмањих квадрата између врста (слика 35) показала је јасно одвајање сладуна на основу ширег дела горњег дела лисне плоче код већих листова.

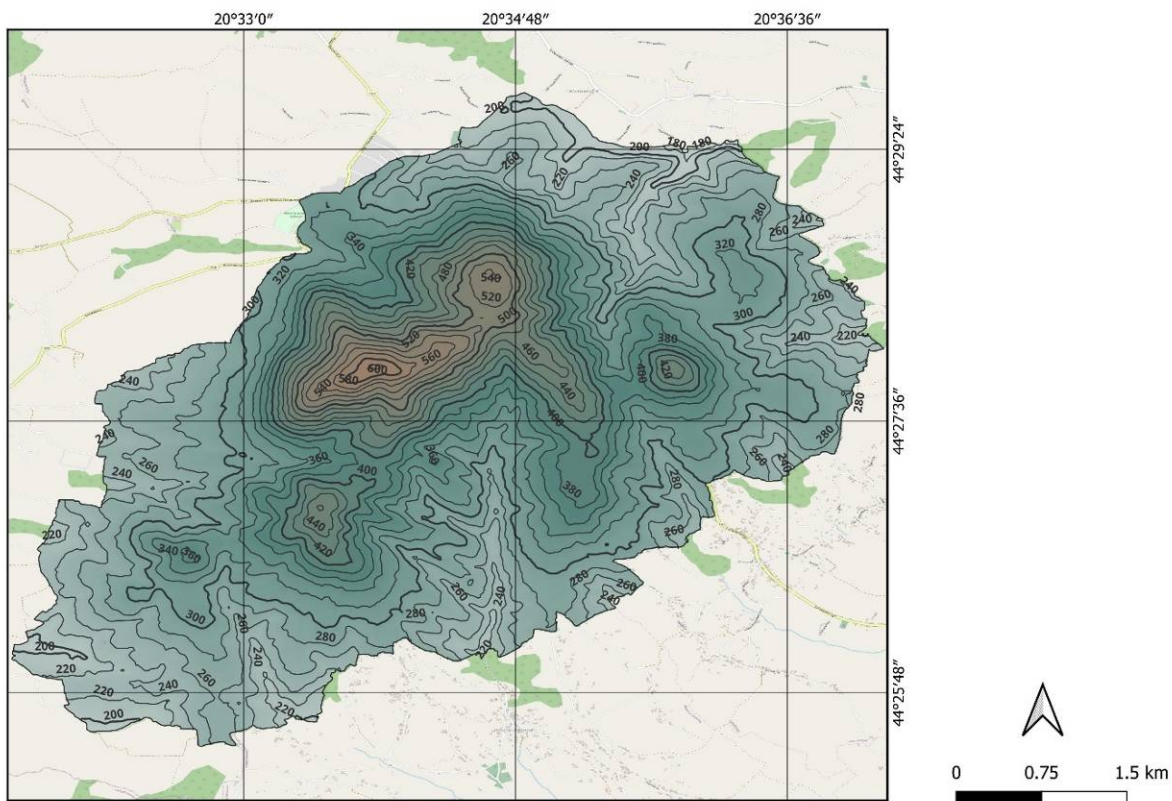


Слика 35. Ординација селекционисаних индивидуа добијена двоблоковском анализом парцијалних најмањих квадрата, са приказом промена облика међу врстама (тамно плава боја – промена облика листа, светло плава боја – просечан облик за цео узорак)

4.1.3. Веза морфологије листа и услова станишта

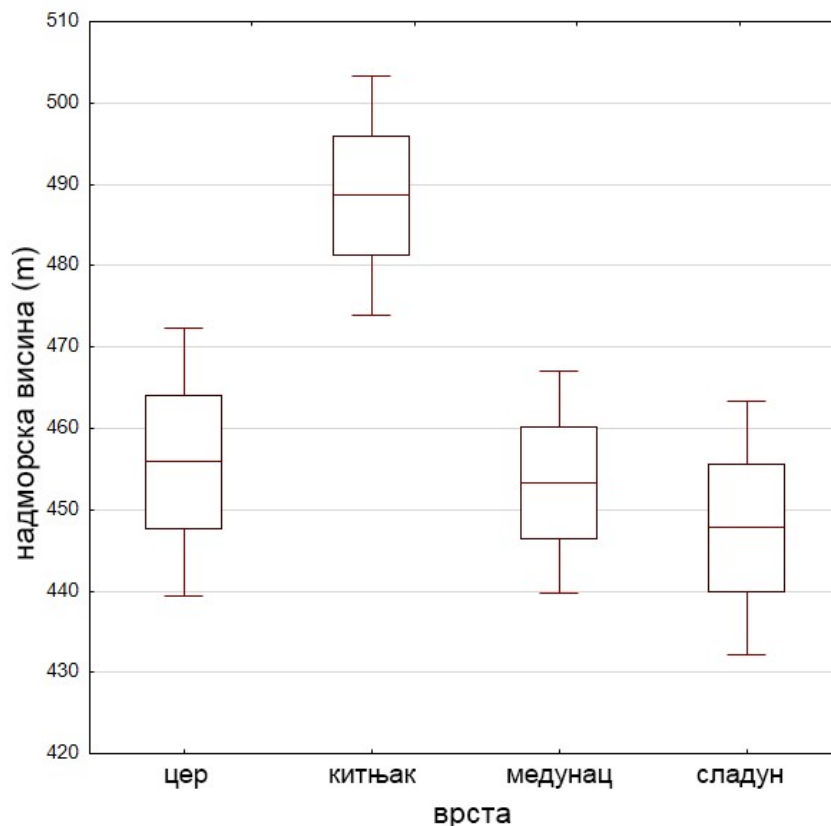
4.1.3.1. Надморска висина

Коришћењем дигиталног модела терена, вредности надморске висине представљене су у форми мапе за подручје ПИО „Космај” (слика 36). Вредности надморске висине за сваку селекционисану индивидуу приказане су у прилозима 11-14.



Слика 36. Вредности надморске висине на подручју ПИО „Космај” добијене преко дигиталног модела терена

На основу вредности надморске висине добијених помоћу дигиталног модела терена, на највећој висини биле су узорковане индивидуе китњака, а на најмањој индивидуе сладуна (слика 37).

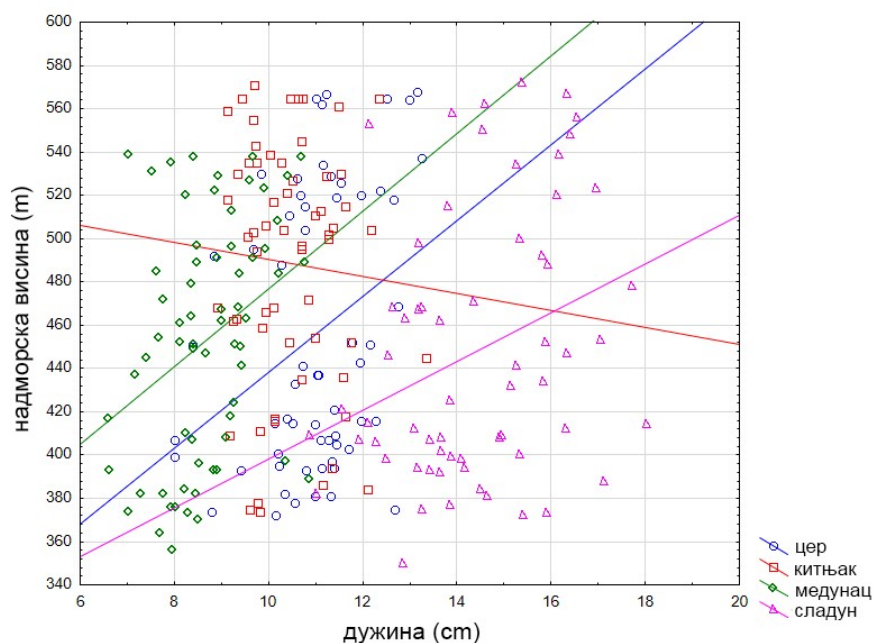


Слика 37. Средња вредност, стандардна грешка и 95% интервал поверења вредности надморске висине за цера, китњака, медунаца и сладуна

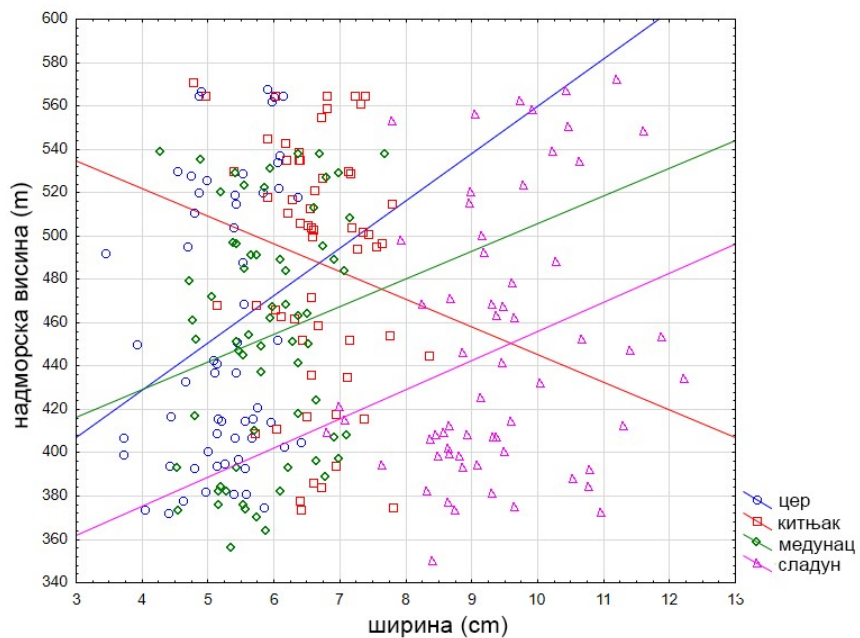
Корелације надморске висине и параметара добијених MASS анализом показале су статистички значајне позитивне корелације надморске висине и дужине листа код цера, медунаца и сладуна. Код сладуна, ширина и површина листа су, такође, биле статистички значајно позитивно корелисане са надморском висином. Статистички значајне негативне корелације заобљености, циркуларности и солидности забележене су код цера и медунаца (табела 17, слике 38-43).

Табела 17. Вредности корелација надморске висине и параметара добијених MASS анализом са приказом статистичке значајности (p). Статистички значајне корелације представљене су црвеном бојом

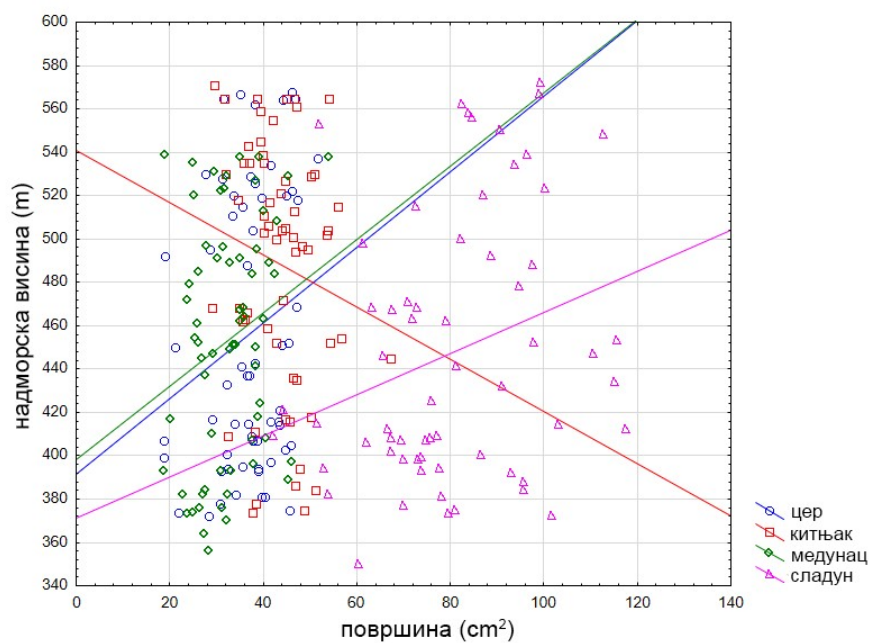
Врста		Дужина	Ширина	Површина	Однос дужина/ширина	Флукутирајућа асиметрија	Заобљеност	Циркуларност	Солидност
Надморска висина	све врсте	0,05	0,01	0,01	0,04	0,088	-0,10	-0,06	-0,10
		p=0,45	p=0,86	p=0,90	p=0,53	p=0,17	p=0,11	p=0,33	p=0,11
	цер	0,32	0,23	0,21	0,064	0,12	-0,30	-0,33	-0,41
		p=0,01	p=0,07	p=0,11	p=0,63	p=0,36	p=0,02	p=0,01	p=0,00
	китњак	-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
	медунац	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
	сладун	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



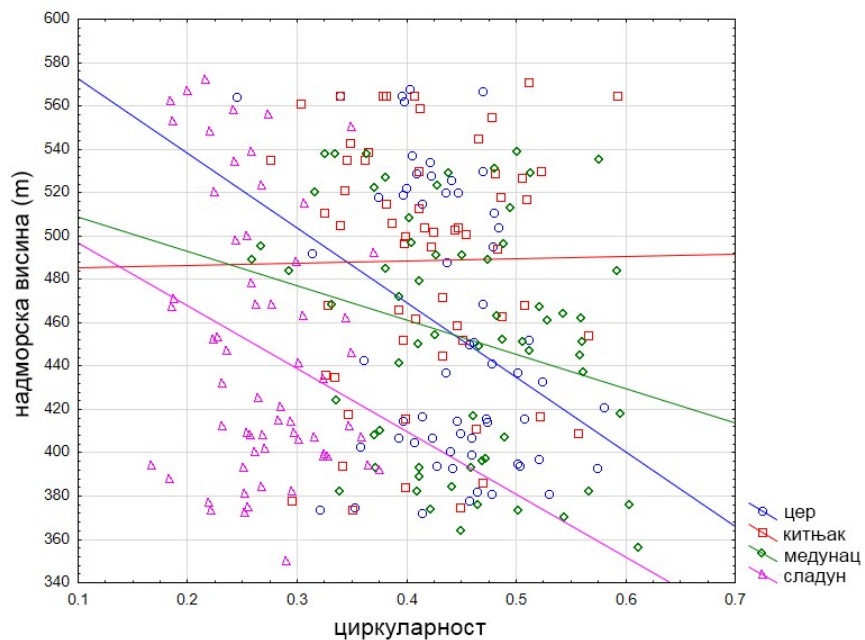
Слика 38. Графички приказ корелације надморске висине и дужине листа код цера, китњака, медунца и сладуна



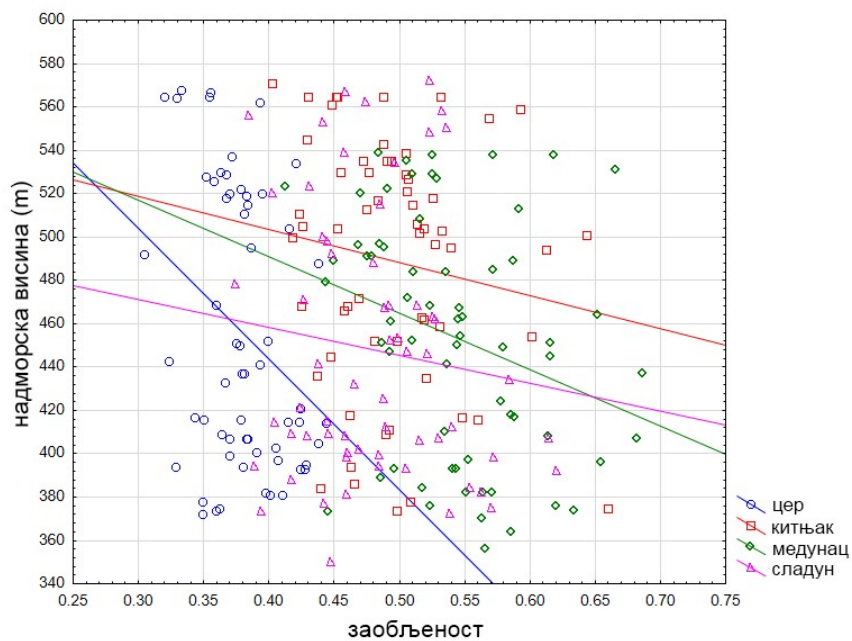
Слика 39. Графички приказ корелације надморске висине и ширине листа код цера, китњака, медунца и сладуна



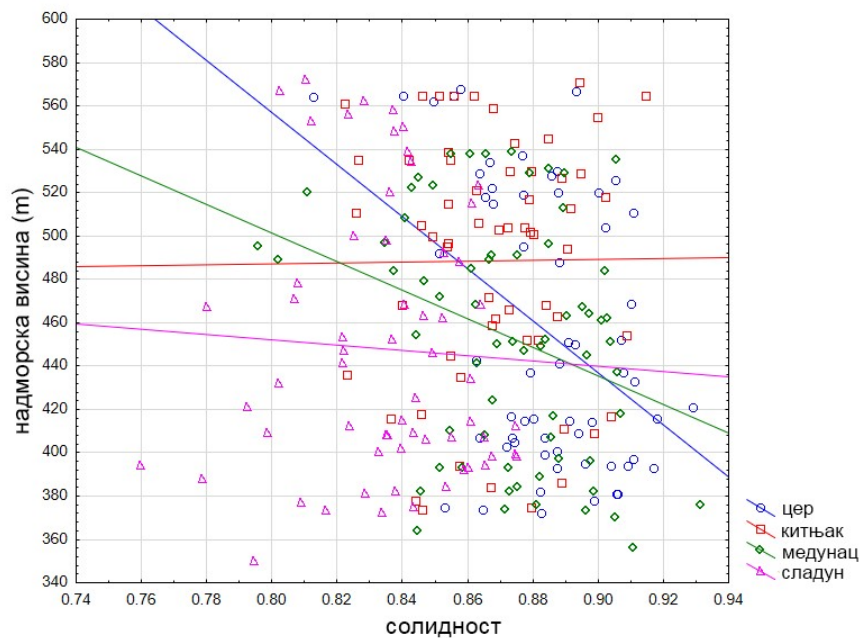
Слика 40. Графички приказ корелације надморске висине и површине листа код цера, китњака, медунца и сладуна



Слика 41. Графички приказ корелације надморске висине и циркуларности листа код цера, китњака, медунца и сладуна



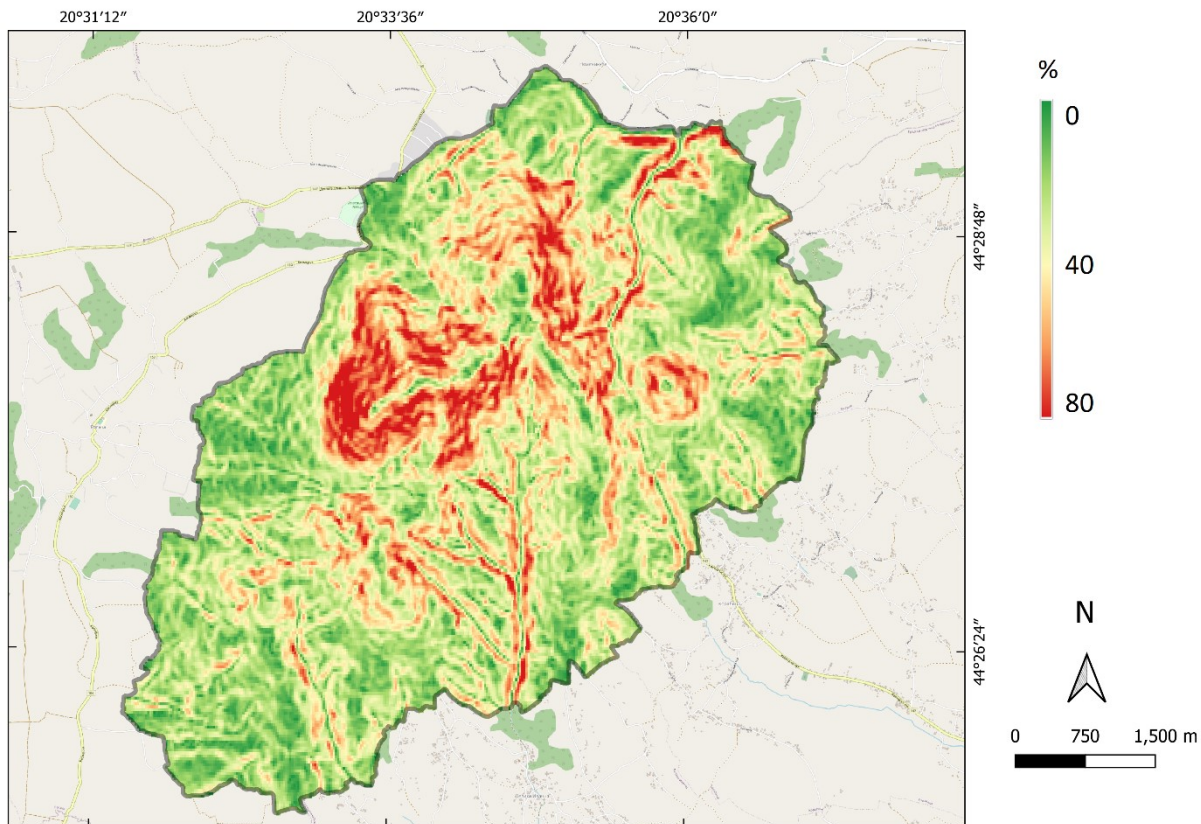
Слика 42. Графички приказ корелације надморске висине и заобљености листа код цера, китњака, медунца и сладуна



Слика 43. Графички приказ корелације надморске висине и солидности листа код цера, китњака, медунаца и сладуна

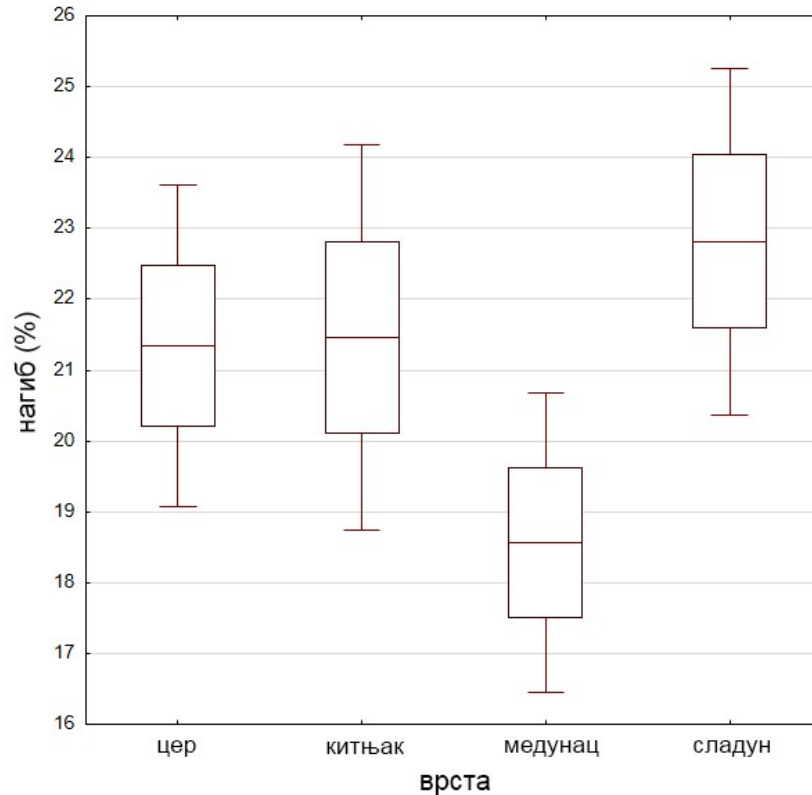
4.1.3.2. Нагиб терена

Коришћењем дигиталног модела терена, вредности нагиба терена представљене су у форми мапе за подручје ПИО „Космај” (слика 44). Вредности нагиба терена за сваку селекционисану индивидуу приказане су у прилозима 11-14.



Слика 44. Вредности нагиба терена (%) на подручју ПИО „Космај” добијене преко дигиталног модела терена

На основу вредности нагиба терена добијених помоћу дигиталног модела терена, на највећем нагибу биле су узорковане индивидуе сладуна, а на најмањој индивидуе медунца (слика 45).

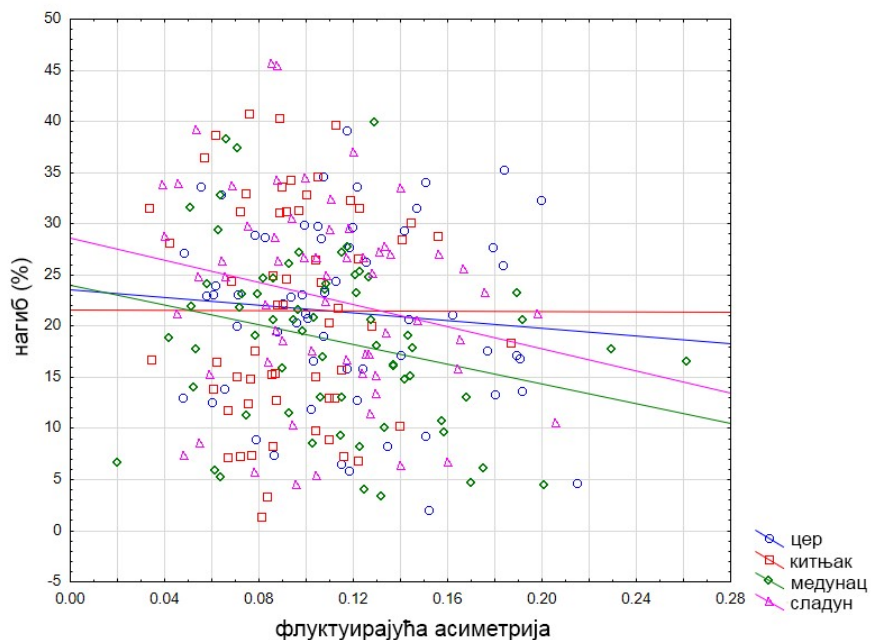


Слика 45. Средња вредност, стандардна грешка и 95% интервал поверења вредности нагиба терена (%) за цер, китњак, медунац и сладун

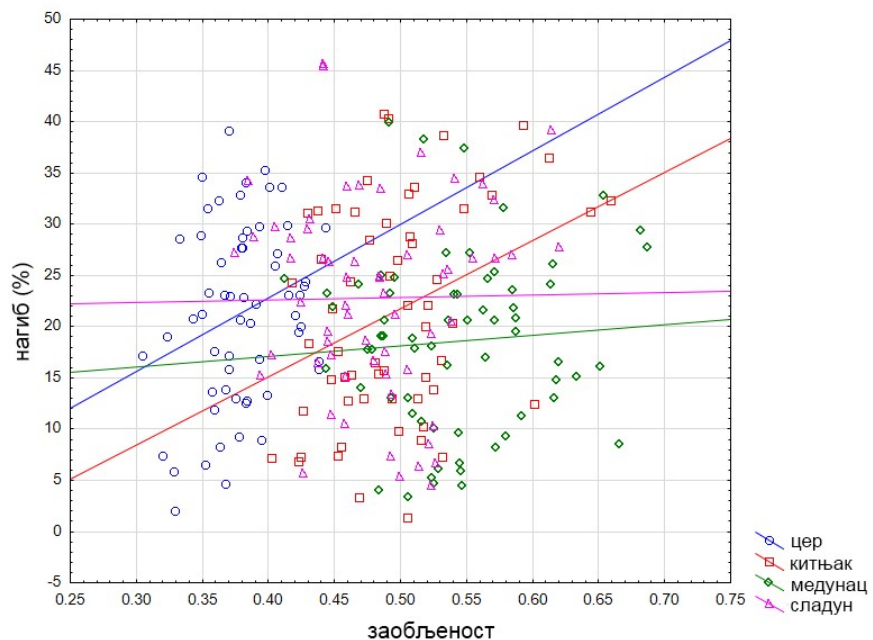
Корелације нагиба терена и параметара добијених MASS анализом показале су статистички значајне позитивне корелације нагиба и ширине листа код китњака. Код китњака је забележена и статистички значајна негативна корелација нагиба терена и односа дужина/ширина. Флукутирајућа асиметрија показала је негативне корелације са нагибом терена на целом узорку, као и појединачно код медунца. Код цера и китњака, заобљеност листа била је статистички значајно позитивно корелисана са нагибом терена. Циркуларност је показала статистички значајну позитивну корелацију са нагибом терена код китњака (табела 18, слике 46-50).

Табела 18. Вредности корелација нагиба терена (%) и параметара добијених MASS анализом са приказом статистичке значајности (p). Статистички значајне корелације представљене су црвеном бојом

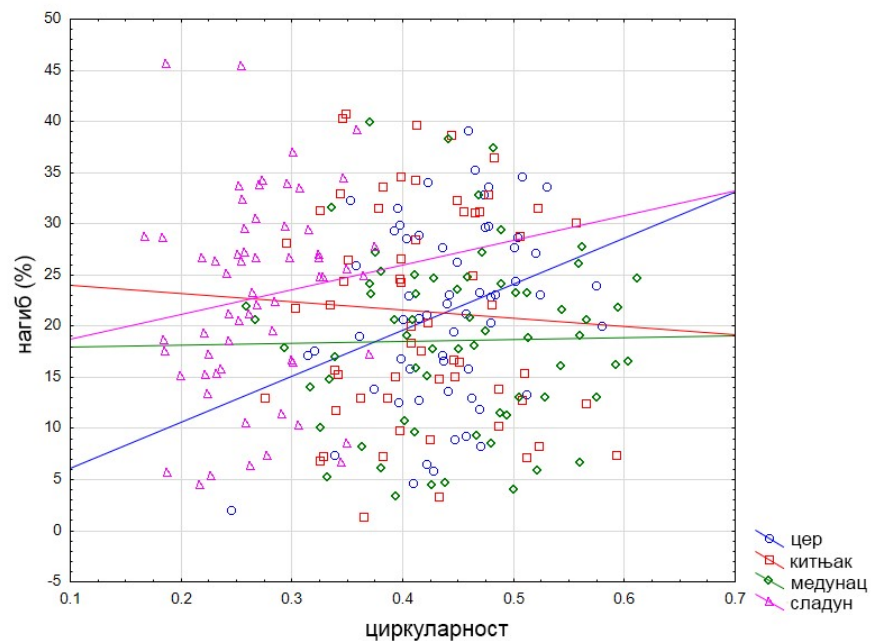
Врста		Дужина	Ширина	Површина	Однос дужина/ширина	Флукутирајућа асиметрија	Заобљеност	Циркуларност	Солидност
Нагиб терена	све врсте	0,11	0,10	0,10	-0,04	-0,15	0,04	-0,04	0,02
		p=0,09	p=0,12	p=0,10	p=0,58	p=0,02	p=0,56	p=0,54	p=0,77
	цер	-0,01	,07	0,09	-0,17	-0,09	0,26	0,32	0,18
		p=0,93	p=,62	p=0,50	p=0,20	p=0,48	p=0,05	p=0,02	p=0,17
	китњак	-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
	медунац	-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
	сладун	-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



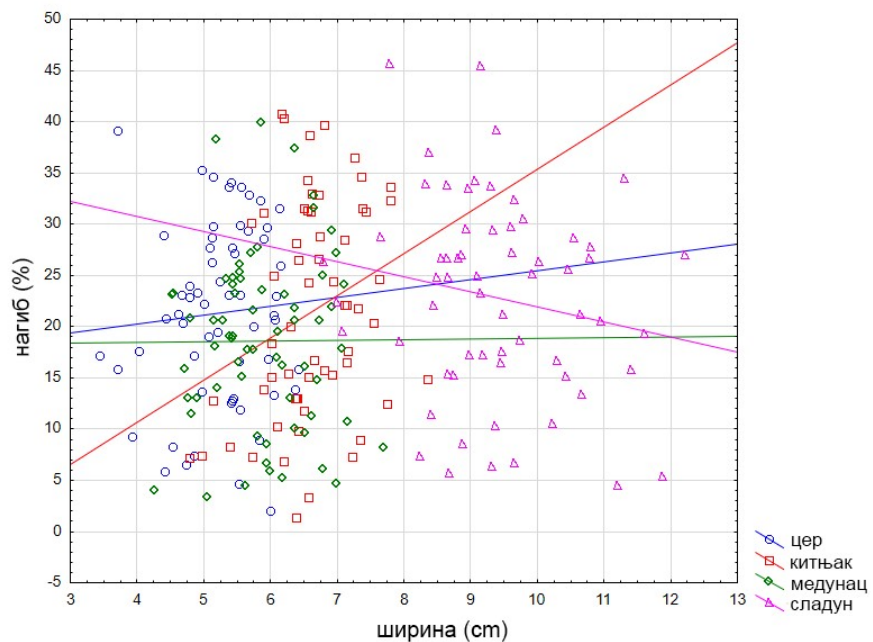
Слика 46. Графички приказ корелације нагиба терена и флукутирајуће асиметрије код цера, китњака, медунаца и сладуна



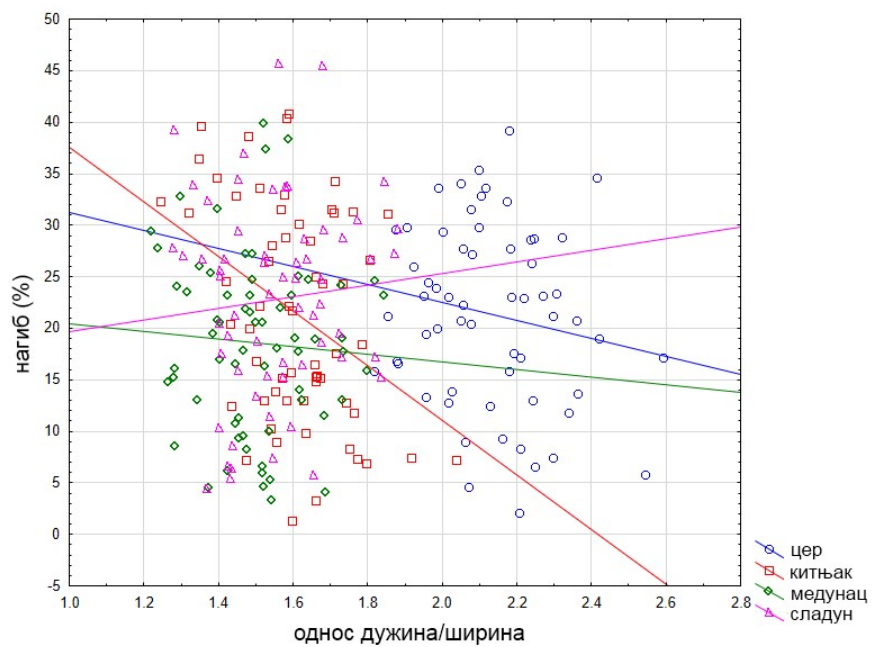
Слика 47. Графички приказ корелације нагиба терена и заобљености код цера, китњака, медунца и сладуна



Слика 48. Графички приказ корелације нагиба терена и циркуларности код цера, китњака, медунца и сладуна



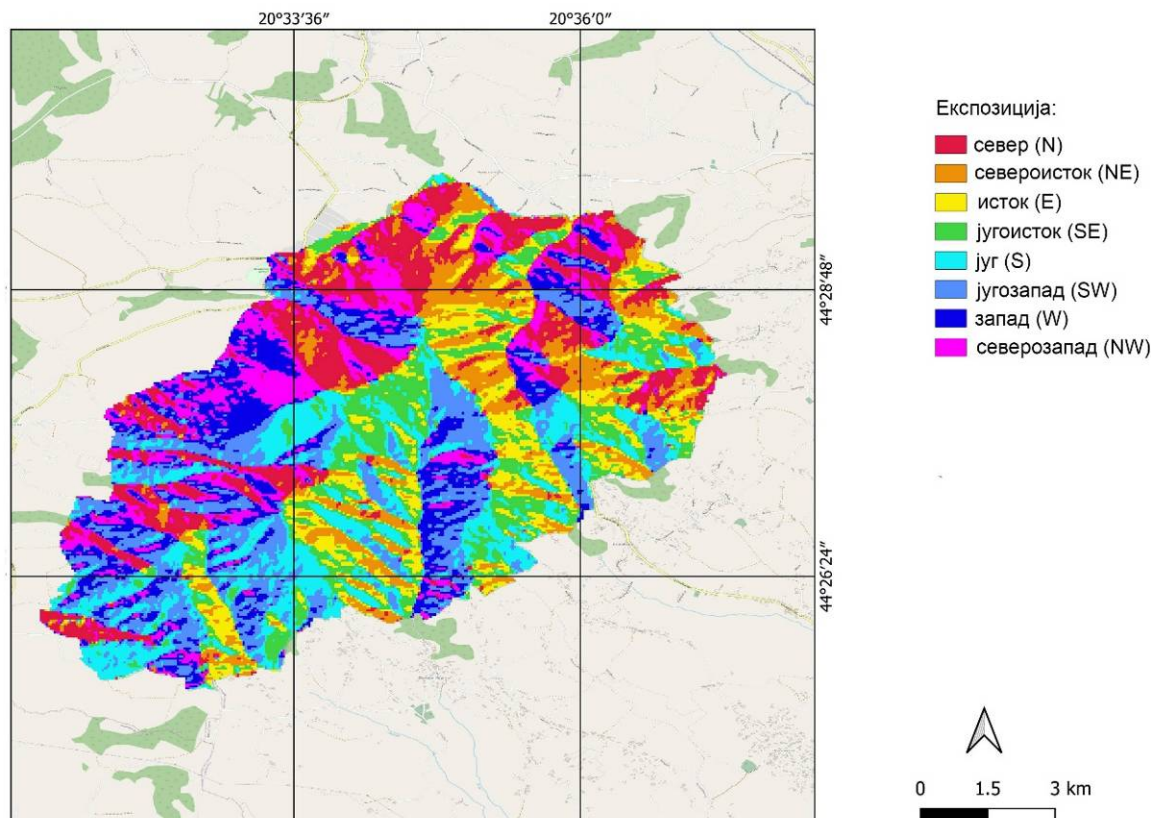
Слика 49. Графички приказ корелације нагиба терена и ширине листа код цера, китњака, медунца и сладуна



Слика 50. Графички приказ корелације нагиба терена и односа дужина/ширина код цера, китњака, медунца и сладуна

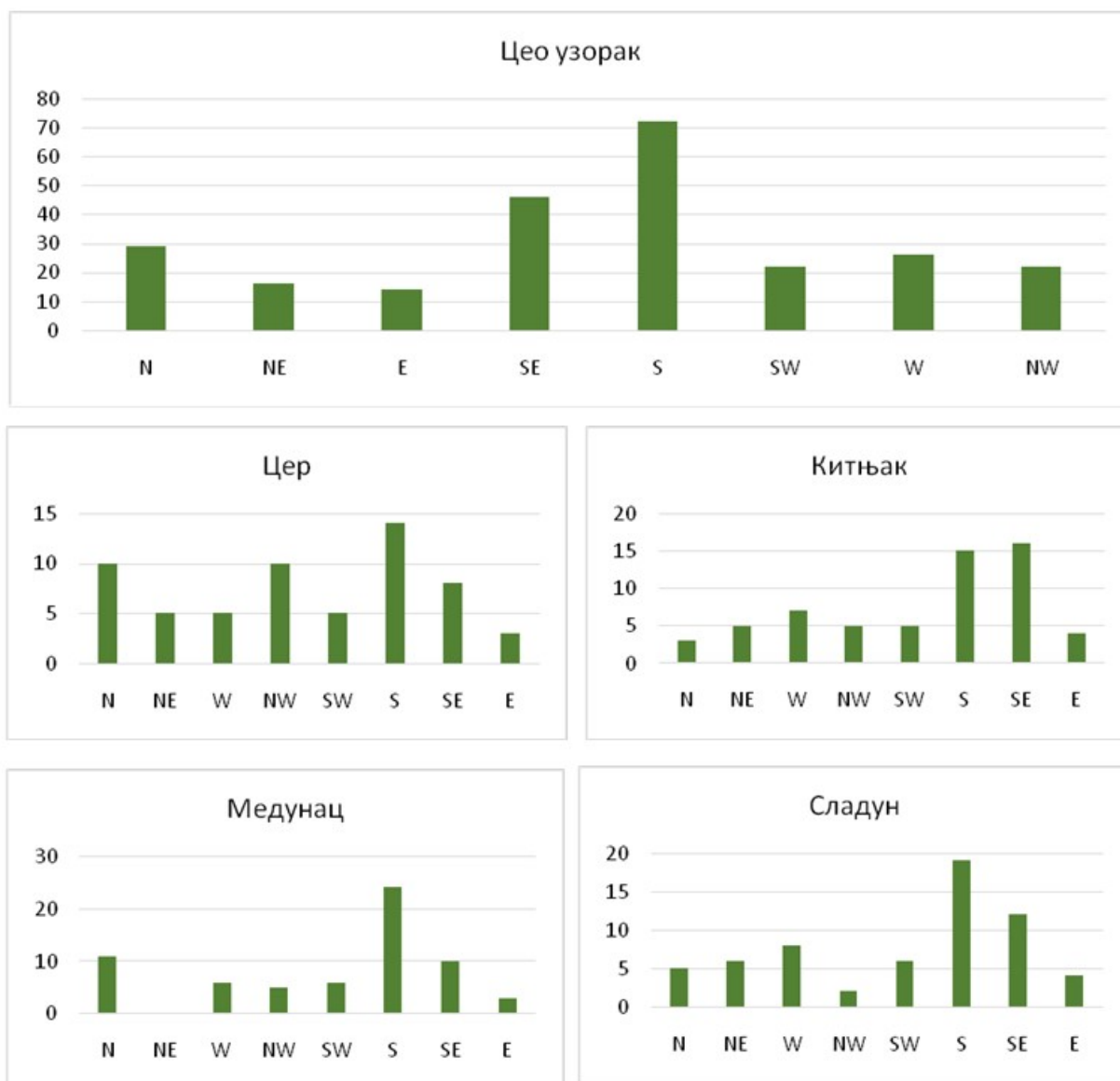
4.1.3.3. Експозиција

Коришћењем дигиталног модела терена, категорије експозиције представљене су у форми мапе за подручје ПИО „Космај” (слика 51). Категорије експозиције за сваку селекционисану индивидуу приказане су у прилозима 11-14.



Слика 51. Категорије експозиције на подручју ПИО „Космај” добијене преко дигиталног модела терена

На основу броја селекционисаних индивидуа према категорији експозиције за цео узорак, највећи број је узоркован на јужној експозицији а најмањи на источној. Појединачно по врстама, највећи број индивидуа цера, медунца и сладуна узоркован је на јужној експозицији, а китњака на југоисточној. Најмањи број индивидуа цера узоркован је на источној, китњака на северној, медунца на источној (и чак ниједан на југоисточној) и сладуна на северозападној (слика 52).



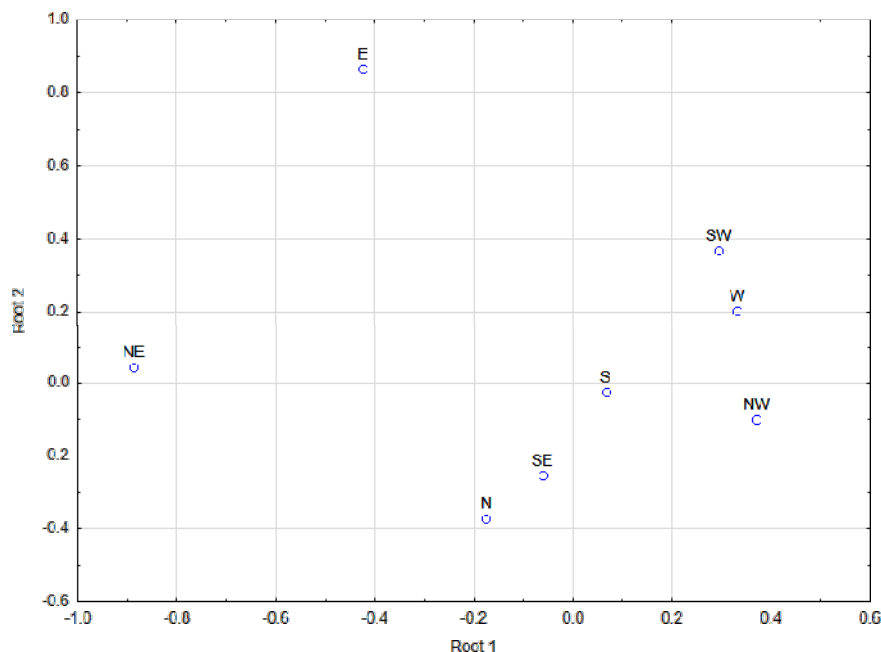
Слика 52. Број индивидуа узоркован по категорији експозиције за цео узорак и за врсте појединачно (цер, китњак, медунац, сладун). Скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток

Анализа варијансе показала је одсуство статистички значајног ефекта експозиције на параметре добијене MASS анализом ($Wilks' \lambda = 0,74$, $F = 1,30$, $p = 0,08$). Канонијска дискриминантна анализа потврдила је ову опсервацију, са само једним параметром – ширином листа, који је показао статистички значајне разлике међу категоријама експозиције за цео узорак ($Wilks' \lambda = 0,79$, $F = 2,04$, $p = 0,04$). Махаланобисове дистанце, добијене канонијском дискриминантном анализом, показале су постојање статистички значајних разлика између селекционисаних индивидуа узоркованих са севера и истока, североистока и запада, североистока и југа, североистока и северозапада, истока и југозапада, као и истока и југоистока (табела 19).

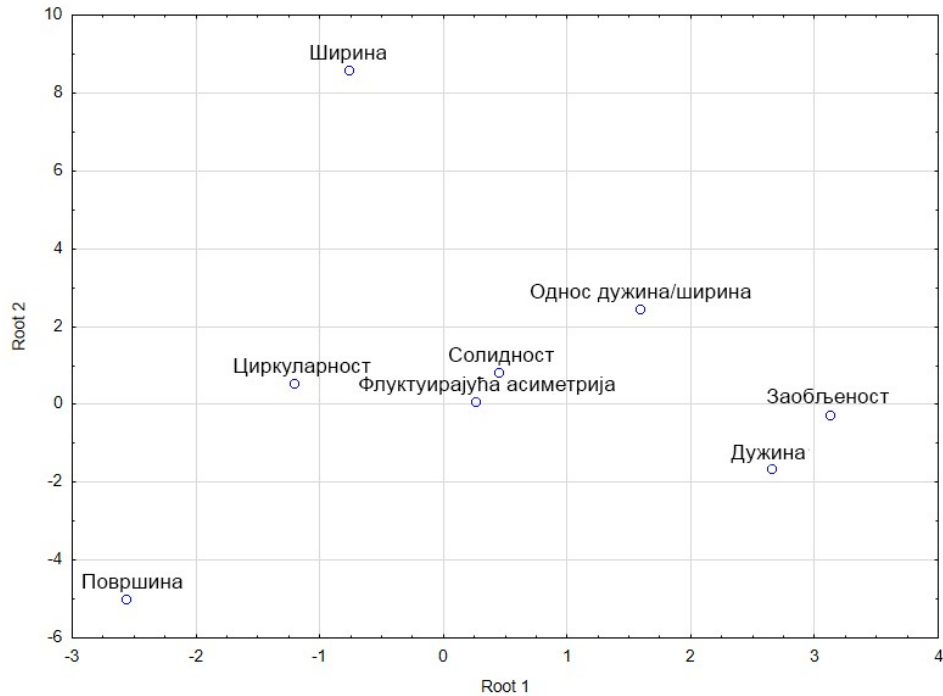
Табела 19. Вредности Махаланобисових дистанци између парова група експозиције (горња половина матрице) и статистичка значајност разлика међу њима (p вредност, доња половина матрице). Статистички значајно различите дистанце ($p < 0,05$) означене су искошеним бројевима

	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	

Резултати добијени канонијском дискриминантном анализом графички су представљени у координатном систему дуж прве и друге канонијске осе – Root 1 и Root 2 (слике 53 и 54). Резултати су показали да су се индивидуе узорковане на источној експозицији одвојиле на основу већих вредности ширине листа, оне на североисточној експозицији на основу већих вредности површине листа, док су индивидуе узорковане на северозападу, југозападу и западу имале веће вредности дужине и заобљености листа.



Слика 53. Канонијска дискриминантна анализа категорија експозиције. Скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток



Слика 54. Канонијска дискриминантна анализа параметара добијених MASS анализом за категорије експозиције

Корелационе матрице (колор мапе) за сваку категорију експозиције за цео узорак (табела 20) показале су постојање одређених образаца варијабилности присутних код свих група (позитивна корелација дужине, ширине и површине, циркуларности и солидности, односа дужина/ширина и солидности, негативна корелација односа дужина/ширина и заобљености). Од специфичних образаца варијабилности, по групама су забележени следећи: југозапад – позитивна корелација ширине и заобљености; североисток – позитивна корелација ширине и заобљености, површине и заобљености, односа дужина/ширина и циркуларности, односа дужина/ширина и солидности, негативна корелација солидности и дужине, солидности и ширине, као и солидности и површине; северозапад – позитивна корелација дужине и односа дужина/ширина; исток – позитивна корелација односа дужина/ширина и циркуларности.

Табела 20. Корелационе матрице (корор мапе) за категорије експозиције. Доње половине матрица представљају Пирсонове коефицијенте корелације, а горње половине статистички значајне разлике међу паровима (p вредности)

Експозиција	Корелационе матрице								Експозиција	Корелационе матрице											
	1 - Дужина	2 - Ширина	3 - Површина	4 - Однос дужина/ширина	5 - Флукутирајућа асиметрија	6 - Заобљеност	7 - Циркуларност	8 - Солидност		1 - Дужина	2 - Ширина	3 - Површина	4 - Однос дужина/ширина	5 - Флукутирајућа асиметрија	6 - Заобљеност	7 - Циркуларност	8 - Солидност				
N	*	0,00	0,00				0,00	0,03	SW	*	0,00	0,00				0,00	0,00	1			
	0,86	*	0,00	0,01			0,00	0,00		0,70	*	0,00	0,00			0,04	0,00		0,00	2	
	0,96	0,96	*				0,00	0,01		0,87	0,95	*				0,00	0,00		3		
	-0,01	-0,49	-0,26	*			0,00	0,02		0,15	-0,58	-0,32	*			0,00			4		
	0,00	-0,06	-0,04	0,12	*					0,25	0,15	0,19	0,13	*		0,03	0,04		5		
	-0,30	0,19	-0,03	-0,90	-0,16	*				-0,32	0,43	0,16	-0,93	-0,17	*				6		
	-0,57	-0,71	-0,63	0,32	0,05	-0,03	*	0,00		-0,78	-0,64	-0,72	0,03	-0,48	0,20	*	0,00		7		
	-0,41	-0,61	-0,49	0,44	0,03	-0,11	0,88	*		-0,64	-0,64	-0,65	0,25	-0,45	0,03	0,90	*		8		
NE	*	0,00	0,00				0,00	0,01	S	*	0,00	0,00				0,01	0,00	0,00	1		
	0,90	*	0,00	0,00			0,01	0,00		0,00	0,81	*	0,00	0,00			0,02	0,00		0,00	2
	0,96	0,97	*	0,01			0,00	0,01		0,93	0,95	*	0,03			0,00	0,00	3			
	-0,46	-0,79	-0,65	*			0,00	0,02		0,08	-0,50	-0,25	*			0,00		0,01		4	
	0,10	0,15	0,16	-0,14	*					0,09	0,05	0,09	0,08	*						5	
	0,24	0,61	0,46	-0,94	0,10	*				-0,32	0,26	0,03	-0,91	-0,06	*					6	
	-0,80	-0,82	-0,81	0,49	-0,18	-0,24	*	0,00		-0,69	-0,68	-0,66	0,15	0,07	0,17	*	0,00	7			
	-0,64	-0,74	-0,68	0,56	-0,16	-0,31	0,89	*		-0,42	-0,53	-0,43	0,29	0,03	0,04	0,85	*	8			
W	*	0,00	0,00				0,00	0,01	SE	*	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	1		
	0,82	*	0,00	0,00			0,01	0,01		0,02	0,84	*	0,00	0,03			0,00	0,00		2	
	0,90	0,96	*	0,01			0,00	0,01		0,94	0,96	*				0,00	0,00	3			
	-0,16	-0,68	-0,48	*			0,00			0,22	-0,32	-0,08	*			0,00		4			
	-0,37	-0,35	-0,30	0,15	*					0,05	-0,01	0,01	0,15	*				5			
	-0,07	0,48	0,31	-0,91	-0,05	*				-0,48	0,02	-0,18	-0,90	-0,14	*		0,40	6			
	-0,57	-0,53	-0,47	0,22	0,30	0,16	*	0,00		-0,73	-0,74	-0,71	0,08	-0,16	0,27	*	0,00	7			
	-0,46	-0,45	-0,35	0,25	0,32	0,14	0,92	*		-0,60	-0,60	-0,55	0,06	-0,19	0,30	0,88	*	8			
NW	*	0,02	0,00		0,04	0,01	0,00		E	*	0,00	0,00		0,04		0,01			1		
	0,62	*	0,00		0,05		0,00	0,00		0,84	*	0,00	0,00			0,01	0,01	2			
	0,87	0,92	*				0,00	0,01		0,92	0,97	*	0,04			0,01		3			
	0,43	-0,42	-0,05	*			0,00			-0,25	-0,72	-0,56	*			0,00		4			
	0,04	0,09	0,07	-0,05	*					0,55	0,46	0,50	-0,19	*				5			
	-0,58	0,25	-0,11	-0,95	0,00	*				0,13	0,62	0,48	-0,94	0,01	*			6			
	-0,69	-0,71	-0,74	0,01	-0,18	0,18	*	0,00		-0,62	-0,69	-0,63	0,49	-0,43	-0,27	*	0,00	7			
	-0,36	-0,65	-0,54	0,34	-0,01	-0,14	0,85	*		-0,41	-0,46	-0,38	0,35	-0,47	-0,07	0,86	*	8			

Скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток

4.2. НЕУТРАЛНА ВАРИЈАБИЛНОСТ

4.2.1. Генетички диверзитет

Стандардни параметри генетичког диверзитета процењени су за сваку врсту храста појединачно и приказани су у табелама 21-25. Код китњака, медунца и сладуна је на 14 локуса детектовано укупно 314 алела, при чему је најмањи број алела, 14, уочен на локусу P1E239, а највећи, 45, на локусу QrZAG90. Код китњака је детектовано укупно 249 на свим испитиваним локусима, код медунца 238 алела, а код сладуна 213 алела. Просечан број алела по локусу у целокупном узорку износио је 16,67 (S.E. = 1,07), просечан ефективни броја алела по локусу 8,35 (S.E. = 0,87), а просечно богатство алела добијено по методи рарификације за 98 копија гена 16,34. Број приватних алела је износио 29 код китњака, 34 код медунца и 18 код сладуна. Ефективна величина популације износила је 305,5 (190,2; 719,2) код медунца, 484,3 (254,8; 3374,5) код китњака, и ∞ (1859,9; ∞) код сладуна. Вредност наведеног параметра код цера, која је износила ∞ (189,8; ∞), мора се узети са резервом због малог броја маркера коришћених за анализе, као и релативно високог удела нултих алела у молекуларним подацима (20,11%). Добијена хетерозиготност код китњака, медунца и сладуна износила је 0,753 (0,053), 0,731 (0,051) и 0,751 (0,053), респективно, са просечном вредношћу наведеног параметра од 0,745 (S.E. = 0,030). Очекивана хетерозиготност код китњака, медунца и сладуна износила је 0,824 (0,040), 0,834 (0,027) и 0,794 (0,033), респективно, са просечном вредношћу од 0,817 (S.E. = 0,019). Код цера, добијена хетерозиготност износила је 0,528 (0,092), а очекивана хетерозиготност 0,778 (0,124). У популацијама свих испитиваних врста храстова детектован је статистички значајан вишак хомозигота.

Табела 21. Вредности параметара генетичког диверзитета код китњака

Локус	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
Тотал/ Просек	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. – величина популације; A – број алела; Ae – ефективни број алела; H_o – добијена хетерозиготност; H_E – очекивана хетерозиготност; F – коефицијент инбридинга; S.E. – стандардна грешка.

Табела 22. Вредности параметара генетичког диверзитета код медунца

Локус	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
Тотал/ Просек	52,429	17	8,344	0,731	0,834	0,131
S.E.	0,291	1,825	1,334	0,051	0,027	0,048

N. – величина популације; A – број алела; Ae – ефективни број алела; H_o – добијена хетерозиготност; H_E – очекивана хетерозиготност; F – коефицијент инбридинга; S.E. – стандардна грешка.

Табела 23. Вредности параметара генетичког диверзитета код сладуна

Локус	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
Тотал/ Просек	54,857	15,214	7,480	0,751	0,794	0,065
S.E.	0,097	1,795	1,548	0,053	0,033	0,041

N. – величина популације; A – број алела; Ae – ефективни број алела; H_o – добијена хетерозиготност; H_E – очекивана хетерозиготност; F – коефицијент инбридинга; S.E. – стандардна грешка.

Табела 24. Вредности параметара генетичког диверзитета код цера

Локус	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						
Тотал/ Просек	51,000	15,800	8,833	0,528	0,778	0,264
S.E.	3,962	3,292	2,140	0,092	0,124	0,122

N. – величина популације; A – број алела; Ae – ефективни број алела; H_o – добијена хетерозиготност; H_E – очекивана хетерозиготност; F – коефицијент инбридинга; S.E. – стандардна грешка.

Табела 25. Стандардни параметри генетичког диверзитета испитиваних популација четири врсте хрстова

Врста	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.)
китњак	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)
медунац	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)
сладун	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)
Тотал/просек	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)
цер	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. – величина популације; A – број алела; PA – број приватних алела; Na – просечан број алела по локусу; Ae – просечан ефективни број алела по локусу; Ar₉₈ – богатство алела по методи рарификације за 98 копија гена; Ne – ефективна величина популације; 95% CI – 95% интервали поверења; H_o – добијена хетерозиготност; H_E – очекивана хетерозиготност; F – коефицијент инбридинга; S.E. – стандардна грешка.

4.2.2. Генетичка диференцијација

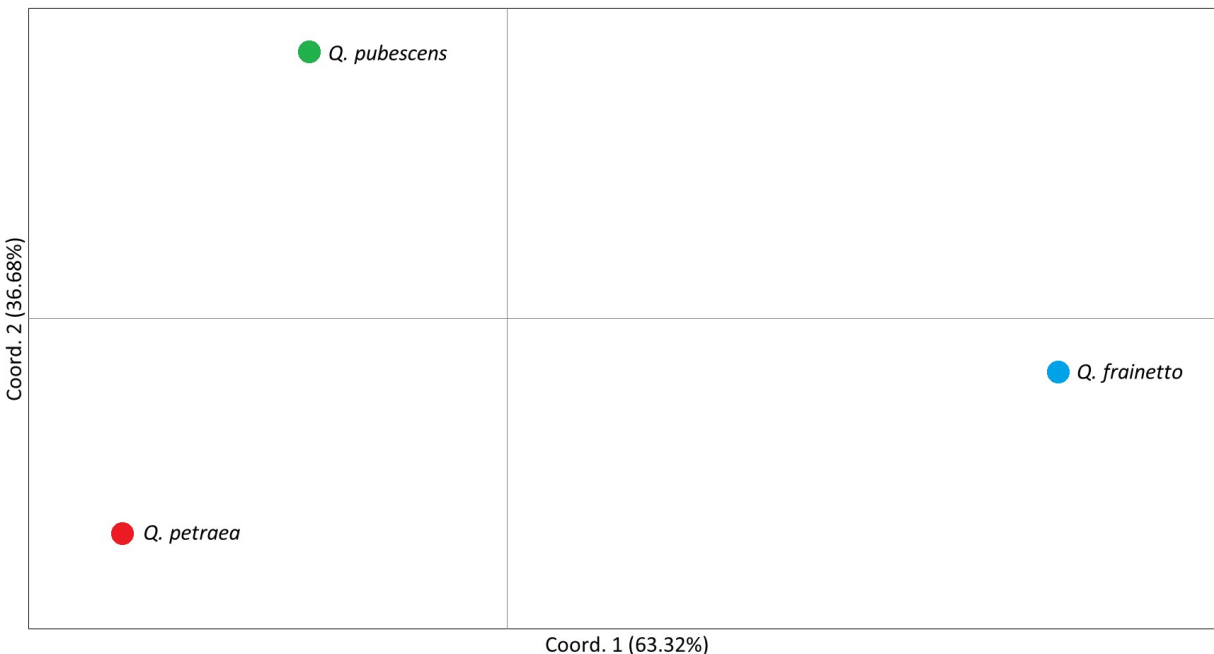
За боље разумевање веза између китњака, медунаца и сладуна, Nm и F_{ST} вредности су процењене за све парове врста (табела 26). Генетичка диференцијација између врста била је ниска али статистички значајна ($p \leq 0,05$), и кретала се од 0,032, између медунаца и китњака, до 0,047, између китњака и сладуна. Због тога, највећи проток гена је уочен између медунаца и китњака (Nm = 7,563), а најмањи (Nm = 5,069) између китњака и сладуна.

Табела 26. Вредности F_{ST} и Nm параметара између парова популација китњака, медунаца и сладуна

Врста	китњак	медунац	сладун
китњак	0,000	Nm = 7,563	Nm = 5,069
медунац	F _{ST} = 0,032	0,000	Nm = 6,160
сладун	F _{ST} = 0,047	F _{ST} = 0,039	0,000

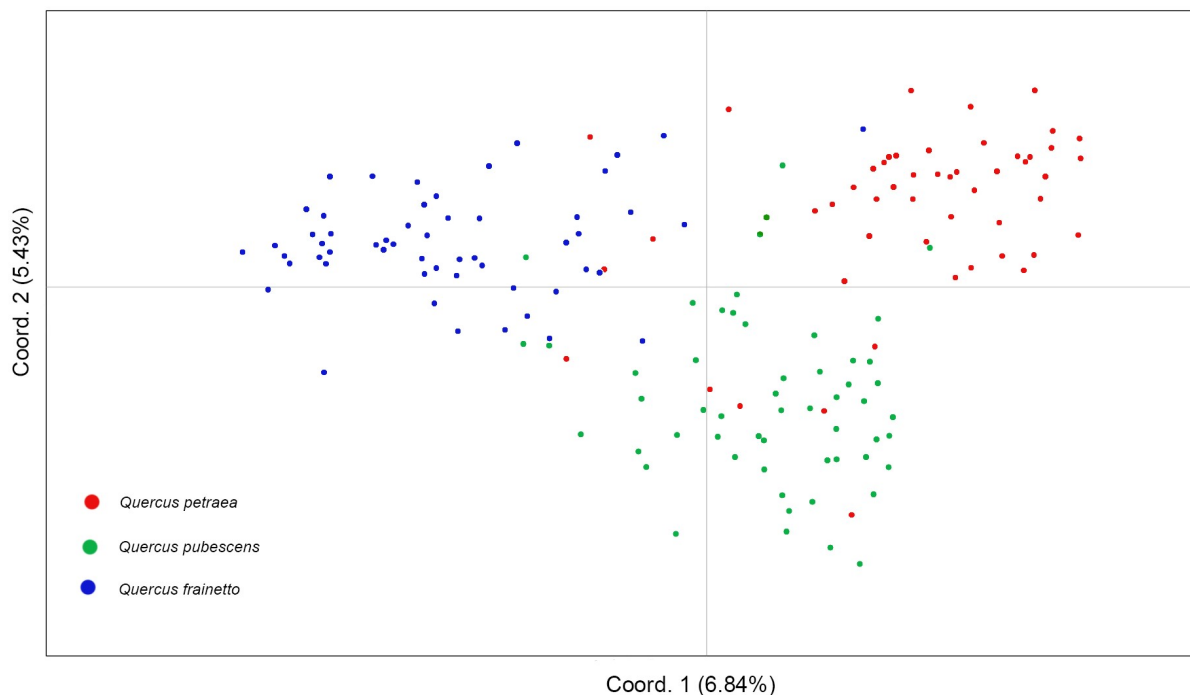
Генетичке дистанце између популација китњака, медунаца и сладуна, добијене сумирањем генетичких дистанци између генотипова у оквиру сваке од популација

коришћењем PCoA анализе представљене су на слици 55. Прва координата објаснила је 63,32% молекуларне варијабилности, а друга координата 36,68% молекуларне варијабилности. С обзиром да су прва и друга координата објасниле чак 100% молекуларне варијабилности, добијени резултати могу се сматрати високо поузданим. Датом PCoA анализом утврђено је да се сладун одваја од медунца и китњака по првој координати, док је одвајање медунца и китњака уочено по другој координати.



Слика 55. PCoA анализа обављена на основу генетичких дистанци код китњака (*Q. petraea*), медунца (*Q. pubescens*) и сладуна (*Q. frainetto*)

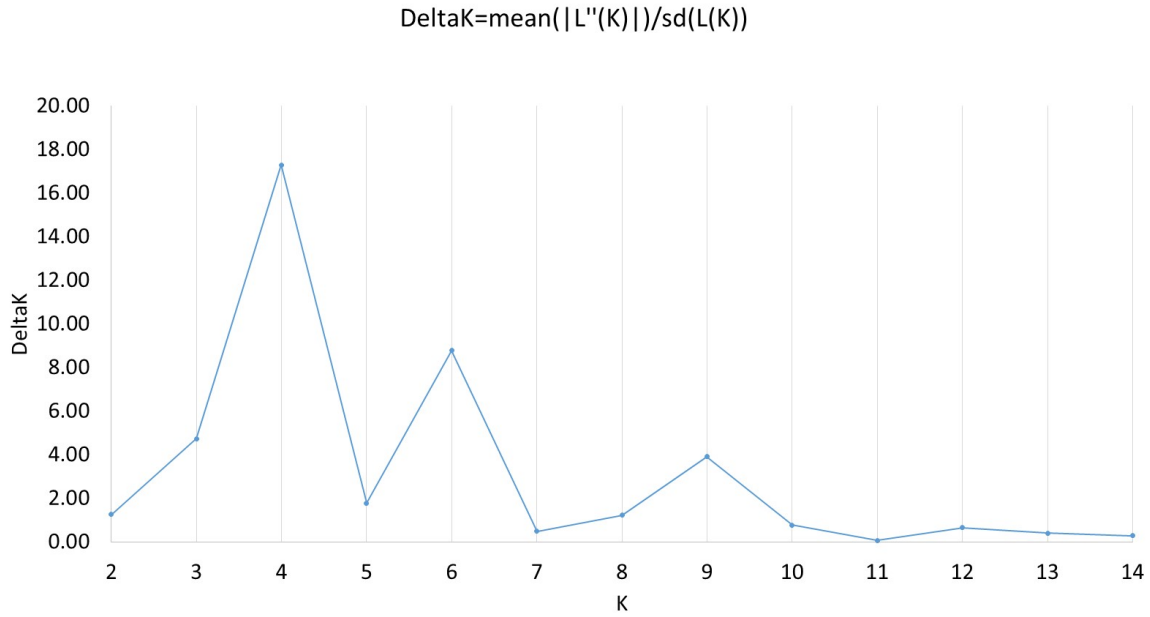
Након тога, обављена је још једна анализа главних координата (PCoA), у којој су коришћене генетичке дистанце између појединачних индивидуа китњака, медунца и сладуна (слика 56). У овом случају, прва координата објаснила је 6,84% молекуларне варијабилности, а друга координата 5,43% молекуларне варијабилности. И поред релативно малог процента укупне молекуларне варијабилности која је објашњена овом анализом (12,27%), уочен је исти тренд као и код претходне PCoA анализе, односно, да се сладун одваја од медунца и китњака по првој координати, а да се медунац и китњак одвајају по другој координати.



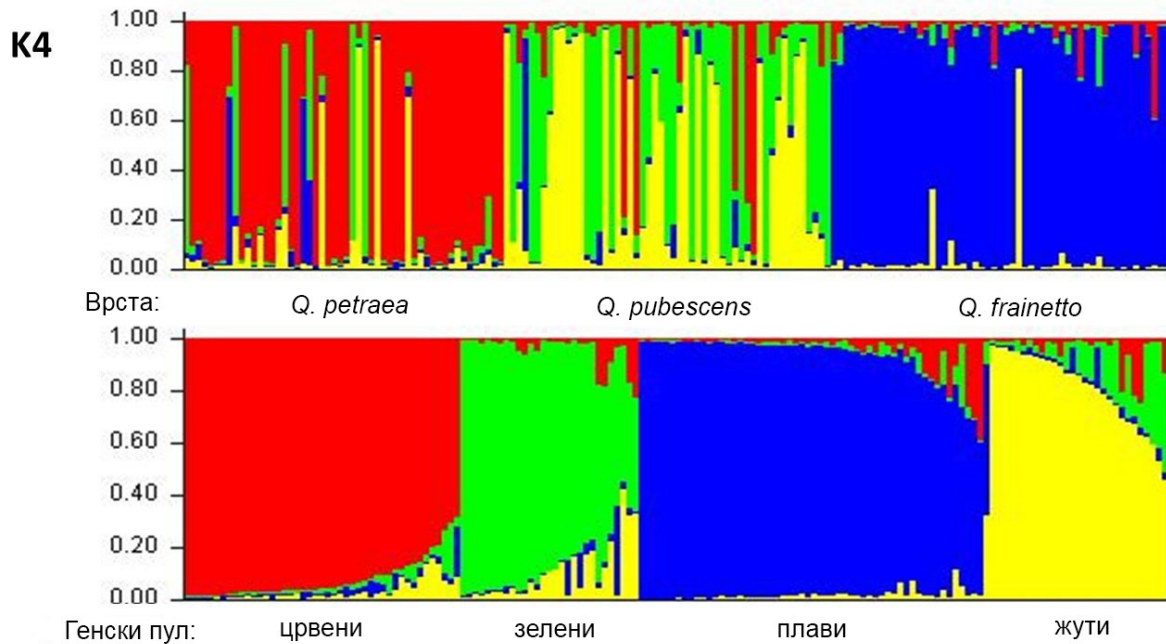
Слика 56. PCoA анализа обављена на основу генетичких дистанци код китњака (*Quercus petraea*), медунца (*Quercus pubescens*) и сладуна (*Quercus frainetto*) на нивоу индивидуа

4.2.3. Генетичка структура

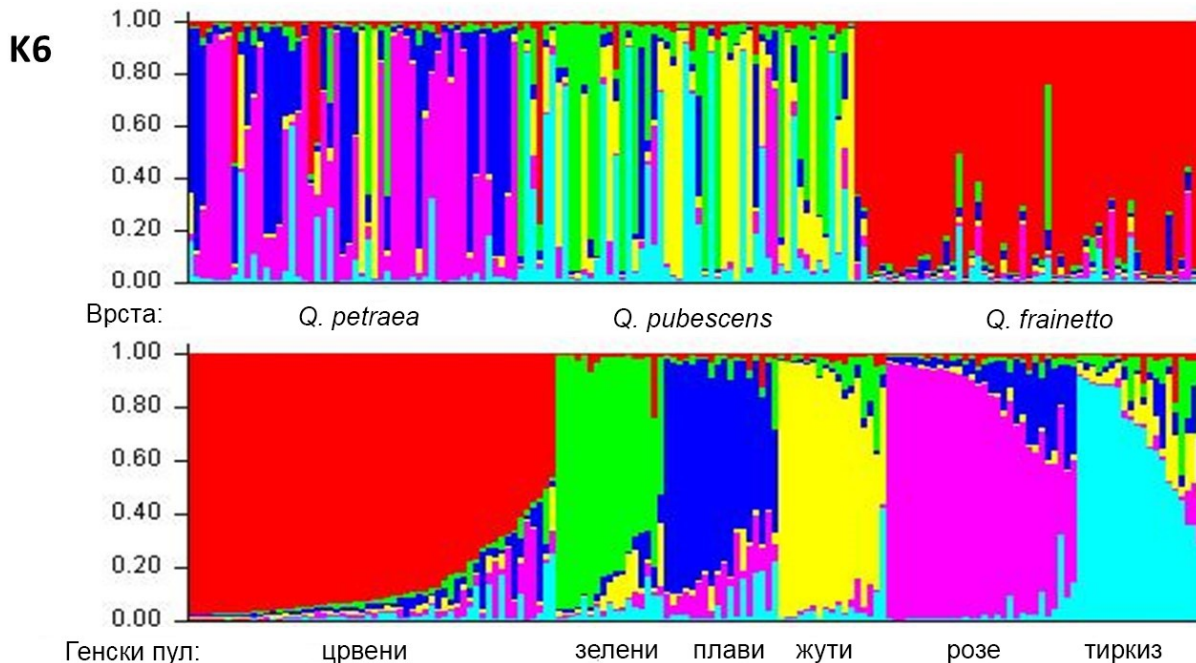
Оптималан број генетичких група, добијен коришћењем ΔK Evanno-вог модела, износио је 4 (слика 57). С обзиром да је оптималан број генетичких група (4) био већи од броја врста (3), добијени резултат указао је на постојање субструктуре испитиваних популација храстова. Такође, уочен је и виши ниво хијерархијске структуре, на $K = 6$, односно, са 6 генетичких група или генских пулова. Резултати STRUCTURE анализе за оптималан број од 4 и 6 генетичких група представљени су на сликама 58 и 59. Генски пулови су ради лакше интерпретације означени бојама: црвени, плави, зелени, жути, розе и тиркизни генски пул. Индивиде су представљене по припадности одређеној генетичкој групи (горњи део слике 58 за $K = 4$ и слике 58 за $K = 6$), а затим су сортиране по уделу припадности одређеном генском пулу (доњи део слике 58 за $K = 4$ и слике 59 за $K = 6$).



Слика 57. Оптималан број генетичких група код испитиваних популација храстова утврђен применом ΔK Evanno-вог модела



Слика 58. Резултати STRUCTURE анализе за број генетичких група $K = 4$



Слика 59. Резултати STRUCTURE анализе за број генетичких група $K = 6$

У STRUCTURE анализи за број генетичких група $K = 4$ и $K = 6$, уочено је да сладун представља кохерентну и дистинктну генетичку групу која није субструктурирана, односно, код које је највећи број индивидуа са високим уделом припадности сврстан у један засебан генски пул. За разлику од сладуна, популације китњака и медунца су субструктуриране, односно, садржале су селекционисане индивидуе које јасно припадају одвојеним генским пуловима. У STRUCTURE анализи за број генетичких група $K = 4$, уочено је да највећи број индивидуа китњака са високим уделом припадности припада црвеном генском пулу, као и да су спорадично присутне индивидуе које су са високим уделом припадности сврстане у зелени, плави и жути генски пул. У STRUCTURE анализи за број генетичких група $K = 6$, међутим, јасније се уочава субструктура популације китњака, јер је већи број индивидуа ове врсте са високим уделом припадности припада како плавом, тако и розе генском пулу, а спорадично су присутне и индивидуе које су са високим уделом припадности сврстане у жути и зелени генски пул. Стога се може рећи да се популација китњака на подручју ПИО „Космај” састоји од две засебне генетичке групе.

У STRUCTURE анализи за број генетичких група $K = 4$, уочено је да већи број индивидуа медунца са високим уделом припадности припада зеленом и жутом генском пулу, као и да су спорадично присутне индивидуе које су са високим уделом припадности сврстане у црвени и плави генски пул. Када се посматрају резултати STRUCTURE анализе за број генетичких група $K = 6$, уочавају се индивидуе медунца које су са високим уделом припадности сврстане у још један, трећи генски пул. Добијени резултати указују на изражену субструктуру испитиване популације медунца на подручју ПИО „Космај”, која се састоји од три засебна генска пула.

У РСoA анализи код цера (слика 60) објашњено је 19,84% молекуларне варијабилности, и то 12,26% првом координатом и 7,58% другом координатом. У дводимензионалном простору дефинисаном првом и другом координатом уочавају се три

засебне групе селекционисаних индивидуа цера које се првој координати одвајају од четврте групе, која се одликује већим нивоом генетичког диверзитета, пошто скорови ових индивидуа заузимају већу површину на левој страни графикана. Ова група је по другој координати подељена на две подгрупе. По другој координати се уочава и раздвајање група које су расуте по десној страни графикана. Добијени резултати указују на изражену генетичку структуру испитиване популације цера.



Слика 60. PCoA анализа обављена на основу генетичких дистанци за цер

4.3. ФАКТОРИ УГРОЖАВАЊА ШУМСКИХ ГЕНЕТИЧКИХ РЕСУРСА НА ПОДРУЧЈУ ПИО „КОСМАЈ”

На подручју ПИО „Космај” евидентирани су бројни негативни утицаји на стање популација шумских дрвенастих врста, као и биодиверзитета уопште, као што су губитак станишта (слика 61), негативан утицај сече и крчења који за последицу има постојање шума углавном изданачког порекла (слика 62), уништавање станишта експлоатацијом минералних сировина (слика 63), велики утицај климатских промена који за последицу има сушење стабала (слика 64), ерозија земљишта (слика 65) и слично, наглашавајући неопходност заштите поменутог подручја.

Губитак и деградација станишта је највећим делом узрокована проширењем пољопривредног земљишта и људских насеља, интензивном сечом шума ради добијања огрева и других производа од дрвета, као и прекомерном испашом. Сече шума и шумски пожари доводе до уништавања станишта различитих шумских врста, што условљава појаву секундарних екосистема, који се одликују смањеном разноврсношћу биљних и животињских врста. Шумски комплекси се деле на већи број мањих делова међу којима је отежана комуникација, што даље доводи до смањења генетичког диверзитета због смањене размене гена. Издељеност и смањење природних популација доводи и до поремећаја унутар самог екосистема и врста које су његов саставни део. Поред тога, фрагментација шума доводи до формирања малих и репродуктивно изолованих популација, где инбридинг може смањити генетичку разноврсност и довести до генетичке ерозије (Nonić et al., 2020; Nonić & Šijačić-Nikolić, 2021). На Космају, бројни фактори утичу на губитак шумских станишта (слика 61). Противправна градња у виду подизања кућа, викендица и угоститељских објеката, обзиром на релативно малу удаљеност од Београда, посебно је изражена на Космају (Filipović & Obradović-Arsić, 2011). У појединим случајевима, градилишта су присутна у непосредној близини или у оквиру шума, доводећи до деградације екосистема у целини.



Слика 61. Градилиште које улази директно у шуму (локалитет Кошутница) на Космају (аутор: Шијачић-Николић, 2022)

Шумски пожари (природног или антропогеног порекла) су још један од фактора који утиче на губитак станишта. Шуме и шумска земљишта на Космају су, у зависности од степена угрожености од пожара, сврстана у шест категорија: I степен – састојине и културе бора и ариша, II степен – састојине и културе смрче, јеле и других четинара, III степен – мешовите састојине и културе лишћара и четинара, IV степен – састојине и културе храста и граба, V степен – састојине букве и других лишћара, VI степен – шикаре, шибљаци и необрасле површине. Највећи део површине Космаја спада у IV степен угрожености од пожара (састојине храста и граба). Генерално, састојинска припадност показује слабу угроженост шумског комплекса од пожара, иако се дешавају (углавном мањи) пожари у граничном делу са пољопривредним површинама. Опасност од пожара прети четинарским и мешовитим заједницама лишћара и четинара од туриста и околних викендица, услед паљења отворене ватре (Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020).

Шуме Космаја су већином изданачког порекла (слика 62), настале као последица масовних сеча у току Другог светског рата. Само мали део представљају високе млађе састојине, што чини стање шума на овом подручју веома незадовољавајућим. Основне карактеристике изданачких шума су смањена производност, недовољно коришћење потенцијала земљишта, изразито неповољна старосна структура, као и лоше здравствено стање индивидуа. Изданачке шуме немају задовољавајући степен генетичке разноврсности (јер из изданака једног стабла настаје неколико нових, која су генетички

идентична), како би биле способне да се прилагоде наглим променама услова средине. Генофонд изданаčkih популација је сиромашан и такве популације не поседују висок степен адаптабилности, односно способности прилагођавања измењеним условима станишта. Ово чини конверзију изданаčkih у високе састојине аутохтоних врста приоритетном активношћу на датом подручју (Milovanović & Šijačić-Nikolić, 2009; Jović et al., 2014).



Слика 62. Изданачко порекло шума на Космају (аутор: Шијачић-Николић, 2022)

У управљању екосистемима посебан изазов представљају алохтоне врсте које су намерно интродуковане у екосистем да би обезбедиле економску, еколошку или друштвену корист. Ове врсте могу представљати важан угрожавајући фактор у области шумарства, јер многе врсте дрвећа које се користе за агрошумарство, комерцијално шумарство и контролу дезертификације нису аутохтоне за дату област. Од виталног је значаја осигурати да такве врсте служе сврси за коју су интродуковане и да не испољавају негативне ефекте на природне екосистеме. Прекомерно ширење интродукованих врста може угрозити генетички диверзитет природних популација њиховим потискивањем са одређених станишта, што изазива фрагментацију и изолацију природних популација.

Један од угрожавајућих фактора шумских екосистема на Космају је потискивање аутохтоних шумских заједница заједницама интродукованих врста, што је и забележено

код већег броја вештачки подигнутих састојина. У појединим одељењима, пенсилванијски јасен се проширио на великим површинама, готово потпуно потискујући аутохтоне лишћарске врсте. Од четинарских врста присутни су црни бор, бели бор, дуглазија, смрча, атлански кедар, боровац и калифорнијска јела које се, такође, јављају у вештачки подигнутим састојинама (Stajić, 2016).

Загађење је један од значајних фактора који негативно утиче на стање шумских екосистема. Загађивачи могу оштетити селекционисане индивидуе директно преко листова и индиректно преко земљишта. Директни ефекти O_3 , CO_2 , NO_2 и NH_3 укључују видљива оштећења листова и веће концентрације загађивача у биљним ткивима. Индиректно, штетне материје из ваздуха, растворене у води, доспевају у земљиште, а тиме и у биљна ткива. Загађење утиче на генофонд шумских врста, смањујући продукцију полена, виталност семена или развој надземног и подземног дела биљака (Longauer et al., 2004; Nonić et al., 2020; Nonić & Šijačić-Nikolić, 2021). Експлоатација минералних сировина је један од проблема који је нарочито изражен на Космају (слика 63). Такође, велики број дивљих депонија додатно угрожава стање животне средине. Локално становништво одлаже отпад на дивље депоније, врло често у шумама, на периферији сеоских насеља и поред путних праваца, што представља опасност по здравље људи и животну средину. Поред тога, несавесни посетиоци и поред постављених места за одлагање отпада (корпе и контејнери), загађују околину одлажући отпад на површине које за то нису намењене (Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020).



Слика 63. Каменолом и дивља депонија на Космају (локалитет Кошутица) (аутор: Јовановић, 2022)

Климатске промене су једна од најочљивијих последица раста људске популације и њеног утицаја на животну средину. Климатске промене чине да фактори који доводе до генетичке ерозије буду посебно појачани. Шуме играју кључну улогу у глобалном кружењу угљеника, и укључујући и земљиште, поседују значајан капацитет везивања и

ослобађања угљеника. Шумски генетички ресурси подлежу климатским променама што доводи до значајног смањења њихове виталности, отпорности, могућности за адаптацију и постепеног пропадања. Структура и динамика шума је под значајним утицајем климатских промена, пре свега услед повећања просечних годишњих температура и екстремних климатских догађаја (Ledig, 1992; Nonić et al., 2020; Nonić & Šijačić-Nikolić, 2021).

Растуће температуре и промењен падавински режим повећавају интензитет и учесталост појаве штеточина, што даље доводи до смањења генетичког диверзитета шума. На Космају су забележене појаве сушења различитих врста четинара и лишћара. Утврђено је и присуство великог и малог срчника (*Myelophilus piniperda*, *Myelophilus minor*), као и више врста поткорњака. Још један од могућих узрока сушења је старост или физиолошка ослабљеност индивидуа, због чега оне постају подложне за развој секундарних штеточина. На Космају је у мањој мери примећено слабљење састојина смрче и дуглазије. Код састојина цера и букве примећено је слабљење у састојинама одмакле старости у виду појава појединачног сушења (слика 64).



Слика 64. Сушење старих и ослабљених стабала медунца на Космају (аутор: Шијачић-Николић, 2022)

Прекомерна експлоатација шумских ресурса представља велику претњу биодиверзитету због штетних утицаја које може имати на животну средину. Главни ефекат који експлоатација има на шуме је непланско и неконтролисано уништавање (сеча)

шума, која доводи до фрагментације станишта а тиме и до губитка генетичког диверзитета (Ledig, 1992).

Захтеви у погледу задовољавања потреба становништва за огревним и техничким дрветом су далеко изнад могућности постојећих капацитета на Космају. Ово је довело до потребе за максималном производњом дрвета, у складу са постојећим стањем шума и плановима предвиђеним основом газдовања шумама. Досадашњи захтеви су се углавном односили на потребу за обезбеђивањем локалног становништва за огревним дрветом. Положај шума и њихова намена, с обзиром да је Космај заштићено природно добро (Предео изузетних одлика "Космај") и туристичко-рекреативна функција у великој мери су потиснули производну функцију шума. Ипак, неконтролисано и непланско сечење шума је и даље присутно. На Космају су чак евидентирани и чисте сече на мањој површини које доводе до ерозије земљишта (слика 65). Због близине насеља, бесправне сече су велики проблем на Космају, у подједнакој мери и у државним и у приватним шумама (Filipović & Obradović-Arsić, 2011; Plan upravljanja PIO „Kosmaj”, 2020).



Слика 65. Ерозија земљишта након сече шуме на Космају (аутор: Шијачић-Николић, 2022)

4.4. ЦИЉЕВИ, ПРИОРИТЕТИ И МЕРЕ ОЧУВАЊА ГЕНЕТИЧКИХ РЕСУРСА ХРАСТОВА НА ПОДРУЧЈУ ПИО „КОСМАЈ”

Šijačić-Nikolić et al. (2016) су проценили главне приоритете и мере очувања шумских генетичких ресурса на националном нивоу у складу са факторима који их угрожавају:

- ширење знања о негативним утицајима на шумске генетичке ресурсе и развој програма са мерама за смањење истих,
- спровођење мера *ex situ* очувања шумских генетичких ресурса,
- спровођење мера *in situ* очувања шумских генетичких ресурса,
- заштита од патогена и болести,
- заштита од потенцијалних пожара,
- заштита од загађења.

У оквиру ширења знања о негативним утицајима на шумске генетичке ресурсе и развијања програма за њихово смањивање кључно је израдити дугорочни програм истраживања штетних утицаја, спровести процену рањивости ретких и угрожених врста шумског дрвећа, конструисати дугорочни програм проучавања адаптабилности шумских генетичких ресурса на промене станишта, анализирати генетичку варијабилност заједно са рањивошћу популација шумског дрвећа на патогене и болести, као и заједно са осетљивошћу популација на загађење.

У оквиру спровођења мера *ex situ* очувања шумских генетичких ресурса важно је израдити дугорочни програм *ex situ* конзервације, одредити листу приоритетних врста шумског дрвећа за укључивање у програме очувања и оплемењивања. Поред поменутог, кључно је прикупљање материјала који потиче од старих индивидуа која имају добар адаптивни потенцијал (ради чувања у банкама гена), као и прикупљање репродуктивног материјала индивидуа из угрожених популација ради производње довољно квалитетног садног материјала.

У оквиру спровођења мера *in situ* очувања шумских генетичких ресурса од кључног је значаја идентификовање ретких и угрожених приоритетних врста за конзервацију, очување врло ретких индивидуа са израженим адаптивним потенцијалом, као и промовисање смањења уништавања и фрагментације шума.

У оквиру мера заштите шумских генетичких ресурса у односу на ширење патогена и болести важно је сакупити информације о појави и току њихових популационих нивоа и предузети мере у адекватном року ради смањења штете, као и избегавање формирања засада коришћењем генетички хомогеног материјала.

У оквиру мера заштите шумских генетичких ресурса у односу на шумске пожаре, важно је пратити климатске промене у циљу процене опасности од појаве потенцијалних пожара, увођење дежурстава у шумским газдинствима и управама, као и обезбедити проходност путева.

У оквиру мера заштите шумских генетичких ресурса у односу на загађење, неопходно је проценити целокупни утицај загађења на биолошку разноврсност, развити биоиндикаторе за мониторинг деловања загађења и извршити ревизију законских мера које се односе на спречавање и контролу загађења.

Šijačić-Nikolić et al. (2016) су, такође, одредили приоритете и мере унапређења законских оквира за очување шумских генетичких ресурса које укључују:

- активно учешће државних институција и државних организација у интернационалним процесима и иницијативама које се односе на очување шумских генетичких ресурса,
- унапређење циљева стратегија развоја шумарства са посебним истицањем холистичког приступа газдовања шумама,
- унапређење законских оквира у области очувања шумских генетичких ресурса,
- унапређење програмских оквира који се тичу очувања шумских генетичких ресурса на локалном и ширем, националном нивоу,
- развој система мониторинга и процене актуелног стања шумских генетичких ресурса.

У оквиру мера за активно учешће државних институција и државних организација у интернационалним процесима и иницијативама очувања шумских генетичких ресурса важно је спровођење мера процеса Министарске конференције о заштити шума у Европи (*Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe*, MCPFE), наставити активно учешће у EUFORGEN програму (*European Forest Genetic Resources Programme*) и израдити дугорочни акциони план државних институција у интернационалним процесима, уз праћење и адекватну измену локалних, националних и интернационалних законских и стратешких оквира.

У оквиру мера за унапређење циљева стратегија развоја шумарства са истицањем холистичког приступа у газдовању шумама важно је ревидирати и ускладити стратегију развоја шумарства Републике Србије са стратегијом развоја шумарства Европске уније.

У оквиру унапређења законских оквира у области очувања шумских генетичких ресурса, важно је усклађивање законских оквира у области управљања репродуктивним материјалом шумских дрвенастих врста, процена постојећих система региона провенијенција врста шумског дрвећа у односу на потребе ублажавања последица промена услова средине и њиховог прилагођавања на исте, као и ревидирање и усклађивање постојећих правилника ради бољег интегрисања очувања шумских генетичких ресурса у систем газдовања шумама.

У оквиру унапређења програмских оквира који се тичу очувања шумских генетичких ресурса на локалном и националном нивоу потребно је изградити програме очувања шумских генетичких ресурса у областима заштићених природних добара и на другим специфичним стаништима, израдити програм *ex situ* очувања, као и комбиновати приступе *in situ* и *ex situ* метода у очувању шумских генетичких ресурса.

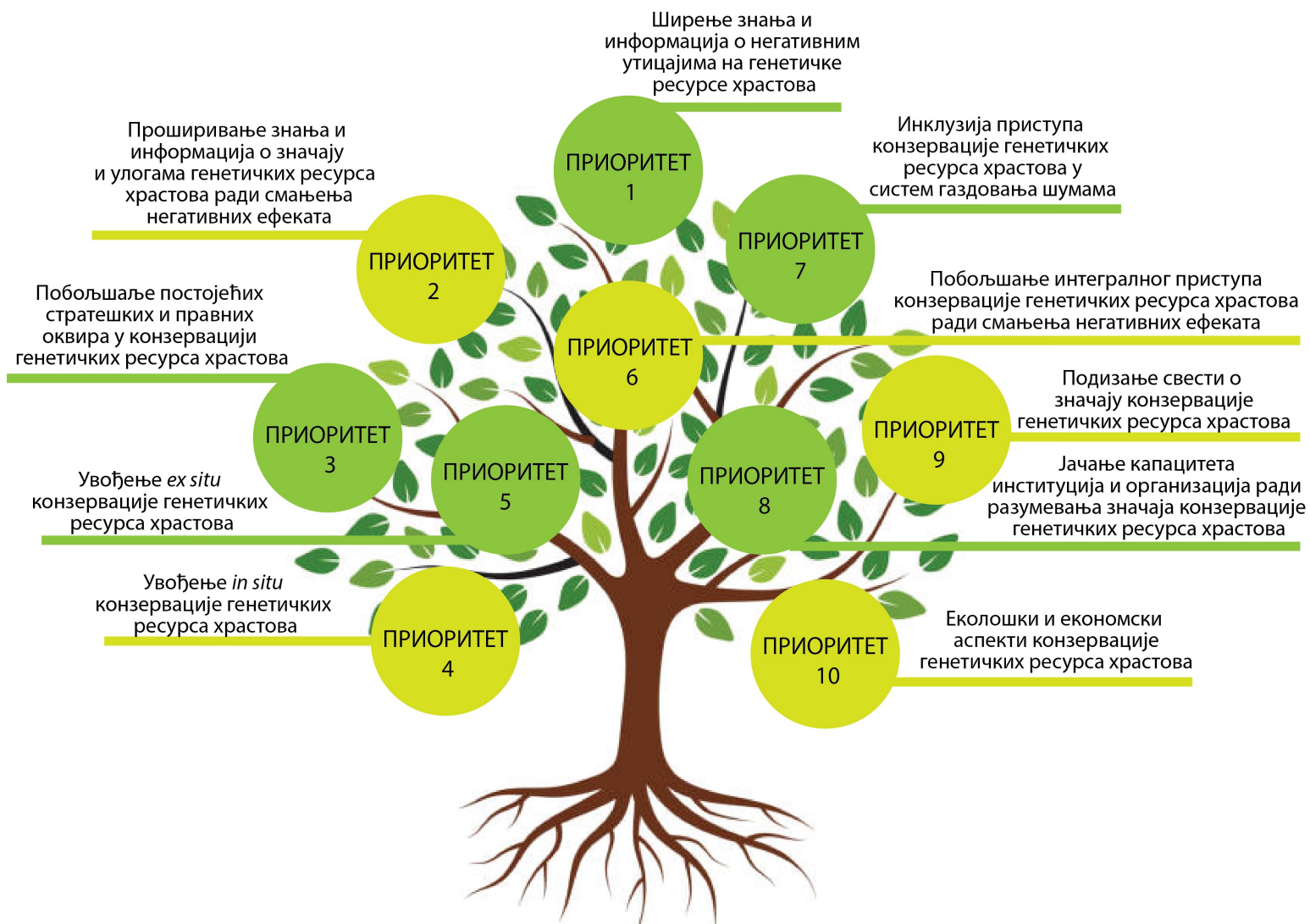
У оквиру развоја система мониторинга и процене тренутног стања шумских генетичких ресурса потребно је израдити смернице са јасно дефинисаним индикаторима неопходним за процену стања шумских генетичких ресурса на националном нивоу и иницирати међусекторску сарадњу ради развоја свеобухватног система мониторинга и процене стања шумских генетичких ресурса.

По узору на дефинисане приоритете и мере очувања шумских генетичких ресурса на националном нивоу, а на основу приказаних резултата истраживања адаптивне и неутралне варијабилности различитих врста храстова на подручју ПИО „Космај”, извршена је карактеризација еколошког и конзервационог статуса истраживаних врста и дефинисане су конкретне мере конзервације, као и принципи газдовања популацијама храстова у овом заштићеном природном добру. Детаљан приказ циљева, мера и приоритета газдовања популацијама храстова на подручју ПИО „Космај” приказан је у прилозима 19-23.

С обзиром на велики број негативних фактора који делују на територији ПИО „Космај”, општи циљеви конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова сумирани су на следећи начин:

- 1) истраживање и едукација у области конзервације генетичких ресурса храстова,
- 2) стратешки, законски и програмски оквири конзервације генетичких ресурса храстова,
- 3) међународна и међусекторска сарадња у конзервацији генетичких ресурса храстова,
- 4) јачање капацитета и ширење информација о конзервацији генетичких ресурса храстова,
- 5) спровођење и праћење националног програма конзервације генетичких ресурса храстова.

Приказ главних приоритета заштите генетичких ресурса истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај” приказан је на слици 66.



Слика 66. Приоритети конзервације популација истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај”

Приоритет 1 – **ширење знања и информација о негативним утицајима на генетичке ресурсе истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) развој дугорочних програма истраживања утицаја негативних ефеката на генетичке ресурсе храстова, 2) развој смерница за укључивање приоритетних врста у програме истраживања утицаја негативних ефеката на генетичке ресурсе храстова, 3) процена рањивости ретких и угрожених врста храстова, 4) спровођење процене утицаја различитих система газдовања на генетичке ресурсе храстова, као и 5) истраживање могућности примене различитих модела и сценарија за потребе процене рањивости генетичких ресурса храстова.

Приоритет 2 – **проширивање знања и информација о значају и улогама генетичких ресурса истраживаних врста храстова ради смањења негативних ефеката на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) развој дугорочних програма истраживања адаптабилности храстова на промене у животној средини, 2) истраживање потенцијала храстова за складиштење угљеника, 3) истраживање неутралне и адаптивне варијабилности храстова, ради дефинисања адаптационих механизма на различитим стаништима, 4) компаративна анализа степена генетичке варијабилности и рањивост популација храстова на болести и штеточине, као и 5) компаративна анализа степена генетичке варијабилности храстова и квалитета других одлика станишта, као што су земљиште, вода, ваздух и биодиверзитет.

Приоритет 3 – **побољшавање постојећих стратешких и правних оквира у конзервацији генетичких ресурса истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) унапређење и усклађивање стратешких циљева развоја шумарства са новим стратешким документима Европске уније, са нагласком на холистички приступ у газдовању шумама, 2) процена постојећих система региона провенијенције храстова у односу на потребе адаптација и смањења негативних ефеката, као и 3) усклађивање правних оквира повезаних са газдовањем репродуктивним материјалом храстова и потребама потпомогнуте миграције генетичког материјала у складу са утицајем негативних ефеката.

Приоритет 4 – **увођење *in situ* конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) развој програма генетичке конзервације храстова на територији заштићеног подручја и на специфичним стаништима, 2) укључивање ПИО „Космај” у мрежу заштићених подручја и у систем њиховог мониторинга, као и 3) развој система мониторинга утицаја негативних ефеката на генетичке ресурсе храстова у оквиру заштићеног подручја.

Приоритет 5 – **увођење *ex situ* конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова са подручја ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) развој дугорочних програма *ex situ* конзервације генетичких ресурса храстова, 2) идентификација листе приоритета врста храстова и њихових карактеристика за укључивање у интензивне *ex situ* конзервационе програме, 3) процена адаптивне способности приоритетних врста на нивоу индивидуа у одабраним популацијама, као и 4) дефинисање смерница за формирање експерименталних популација и банака гена у циљу конзервације адаптивне варијабилности истраживаних врста храстова.

Приоритет 6 – **побољшање интегралног приступа конзервацији генетичких ресурса истраживаних врста храстова ради смањења негативних ефеката на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) развој дугорочних програма и интегралног приступа конзервацији генетичких ресурса храстова на основу адекватне

комбинације *in situ* и *ex situ* метода и кооперације међу секторима, 2) развој смерница за увођење методе MBPS (*Multiple Population Breeding System*, конзервациона метода у којој је популација са функцијом генетичке конзервације подељена у субпопулације, од којих свака има ефективну величину од око 50 селекционисаних индивидуа) као ефикасног начина за сузбијање негативних ефеката, као и 3) увођење модерних софтвера за моделирање екосистемских процеса повезаних са променама животне средине у системима газдовања шумама.

Приоритет 7 – **инклузија приступа конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова у систем газдовања шумама на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) развој смерница за укључивање процене рањивости и адаптабилности приоритетних врста храстова у процесе планирања газдовања шумама, 2) развој смерница за алокацију и управљање генетичким зонама у шумским екосистемима како би се побољшала адаптабилност врста храстова, као и 3) развој смерница за процену и очување генетичке варијабилности приватних шумских поседа и приближавање значаја генетичких ресурса храстова корисницима и власницима шума.

Приоритет 8 – **јачање капацитета институција и организација ради разумевања значаја конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) побољшање знања запослених у државној администрацији и јавним управама о неопходности усклађеног газдовања шумама кроз конзервацију генетичких ресурса храстова, 2) побољшање вештина запослених у јавним управама за примену савремених софтверских алата за моделирање екосистемских процеса повезаних са променама у животној средини, као и 3) подстицање међусекторске сарадње ради бољег разумевања значаја и планирања активности везаних за конзервацију генетичких ресурса храстова.

Приоритет 9 – **подизање свести о конзервацији генетичких ресурса истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере; 1) разјашњавање концепата генетичких ресурса храстова власницима приватних поседа под шумском вегетацијом и подстицање развоја свести њихове конзервације како би се смањило утицај штетних фактора, 2) израда информативног и едукативног материјала везаног за само заштићено подручје и за значај *in situ* конзервације генетичких ресурса храстова, 3) укључивање заштићеног подручја и програма конзервације у едукативне и туристичке активности, 4) мапирање *ex situ* конзервационих тачака и развој едукативних и информационих програма за упознавање са овим типом конзервације генетичких ресурса храстова, као и 5) креирање интернет портала везаног за значај очувања генетичких ресурса храстова, на коме су представљени сви капацитети конзервације.

Приоритет 10 – **еколошки и економски аспекти конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова на подручју ПИО „Космај”** укључује следеће мере: 1) развој смерница за еколошку и економску процену генетичких ресурса храстова и њихову конзервацију, 2) развој смерница за процену трошкова и прихода конзервационих програма и избор оптималних модела конзервације диверзитета храстова, као и 3) развој дугорочних програма финансирања конзервације генетичких ресурса храстова и идентификовање потенцијалних извора финансирања.

5. ДИСКУСИЈА

Анализа адаптивне варијабилности, приказана на основу величине и облика листа изабраних врста храстова са подручја ПИО „Космај”, показала је специфичне обрасце варијабилности у узорку. Резултати су показали да и величина и облик утичу на морфолошку варијабилност, сугеришући да се ове две компоненте морају заједно проучавати. Истраживање морфолошке варијабилности листа храстова на подручју ПИО „Космај” представља својеврсни изазов, јер је уочене обрасце потребно интерпретирати на релативно малој просторној размери, од нешто више од 3.500,00 хектара. Уочене су значајне разлике у величини и облику листа између четири проучаване врсте храстова, присуство различитих нивоа флукутирајуће асиметрије, као и јасни обрасци међуврсне варијабилности у узорку, који су у складу са до сада публикованим истраживањима храстова на територији Европе и шире.

Резултати су показали да се код свих анализираних врста храстова са порастом дужине, повећавају ширина и дужина листа. Такође, код свих врста, осим код сладуна, већи листови су се показали као мање заобљени и са слабије израженим режњевима. На међуврсном нивоу, јасни обрасци варијабилности су уочени: узак горњи и широк доњи део лисне плоче и кратка лисна дршка код сладуна, уска и зашиљена лисна плоча код цера, као и дугачка лисна дршка и мала разлика између ширине горњег и доњег дела лисне плоче. Ово је у складу са литературним подацима који указују да су управо наведене разлике у облику главна дискриминативна својства за разликовање врста (Sterry, 2007; de Rigo et al., 2016; Eaton et al., 2016; Mauri et al., 2016; Pasta et al., 2016).

Највеће варирање код четири проучаване врсте храстова опсервирано је у погледу флукутирајуће асиметрије. Флукутирајућа асиметрија се користи у процени утицаја стреса околине на развојну стабилност индивида мерењем малих случајних одступања од савршене билатералне симетрије (Ivanković Tatalović et al., 2020). Заправо, повећана флукутирајућа асиметрија морфолошких особина јавља се под стресним условима животне средине и генетичким пертурбацијама, који доводе до смањења развојне хомеостазе.

У идеалним срединама, биљке се одликују развојном стабилношћу, односно способношћу генотипа да створи одређени тип фенотипа у датој средини. Међутим, код већине биљака јавља се развојна нестабилност, као резултат адаптације на стресне услове средине (Cornelissen et al. 2003; Kusi, 2013). Одлике облика листа, анализираних као симетричне карактеристике, су индикација специфичних генотипова и могу бити корисне за описивање и истраживање морфолошких образаца варирања и код чистих врста и код њихових хибрида (Viscosi, 2015). Већина истраживања билатералне симетрије показала је да присуство флукутирајуће асиметрије код симетричних карактеристика организма представља индикатор стреса или одговор на стрес у животној средини (Cornelissen et al., 2003; Puerta-Pinero et al., 2008; Tucić & Miljković, 2010). Асиметрични листови су нађени код појединих врста храстова – *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). Код храстова на територији Србије (област Шумадије), Jovanović et al. (2022a, c, 2023a) показали су постојање флукутирајуће асиметрије код цера, сладуна, лужњака и китњака, са вредностима сличним онима добијеним у овој докторској дисертацији.

Резултати ове докторске дисертације су показали да је флукутирајућа асиметрија била најизраженија код цера, а најмање изражена код китњака, као и да је једино код цера овај параметар показао разлике међу индивидуама. Цер је врста коју карактерише добра адаптабилност на различите услове станишта, толерише сушу, загађење ваздуха и расте на различитим типовима земљишта. Поред тога, може се наћи и на различитим надморским висинама и експозицијама – у топлијим областима на полуосунчаним локалитетима, а у хладнијим областима на локалитетима изложеним сунцу (de Rigo et al., 2016). Са друге стране, китњак је најбоље прилагођен локалитетима са умереном количином нутријената и захтева више светлости у поређењу са другим врстама храстова на Космају, насељава нешто веће надморске висине и само делимично толерише засенченост (Annighöfer et al., 2015). Управо из поменутих разлога резултати указују да је адаптабилност, мерена преко флукутирајуће асиметрије листа, била израженија код цера у поређењу са китњаком.

Супротно флукутирајућој асиметрији, најмање варирање код свих врста забележено је код режњевитости листа, сугеришући да је режњевитост карактеристика која је специфична за врсту и веома мало се мења у оквиру ње. Листови са већим разликама између површине и конвексног омотача, као што су листови са дубоким режњевима, се на основу параметра солидности могу разликовати од компактнијих листова (Li et al., 2018). На основу добијених резултата, уочено је да су режњеви били најизраженији код сладуна а најмање код цера. Ипак, на унутарврсној нивоу, мало варирање у режњевитости листа указује да дата одлика код храстова показује мале разлике, бар на малој просторној размери планине Космај. Поједина истраживања популација различитих врста храстова у Србији (Jovanović et al., 2022a, c, 2023), показала су мало варирање солидности листа, слично оном опсервираном у овој докторској дисертацији.

Иако је облик листа, углавном, одређен генетичким факторима, на њега утичу и фактори средине, као што су надморска висина, температура, доступност воде и слично (Tsukaya, 2005). На пример, надморска висина, експозиција и нагиб терена утичу на раст и развој биљака, јер изазивају варирање фактора средине, као што су температура ваздуха, количина падавина, испаравање и транспирација, брзина ветра и осунчаност (Vennie et al., 2008, Moeslund et al., 2013, Liu et al., 2020). Због тога је варијабилност морфолошких карактеристика листа, као што су површина, пречник, обим, дубина и ширина режњева, често одређена пластичним одговором на спољашње услове средине (Conte, 2021), наглашавајући значај разматрања ових фактора приликом објашњавања морфолошких разлика. Према резултатима представљеним у овој докторској дисертацији, опсервирано је да су индивидуе четири анализираних врсте храстова узорковане на различитој надморској висини и да су код цера, медунца и сладуна уочене корелације надморске висине и величине и облика листа. Код китњака, који је узоркован на највећој надморској висини, корелације нису биле статистички значајне, указујући да се храстови различито прилагођавају утицају надморске висине на нивоу врсте. У погледу алометрије, редуција величине листа примећена је са повећањем надморске висине код европских храстова (*Quercus* sp.) и других врста биљака (Zhang & Marshall, 1995; Bresson et al., 2011), указујући да фенотипска варијабилност мерена дуж градијента може бити под утицајем срединских фактора. Такође, веза између диференцијације генетичког варирања и величине листа условљена је надморском висином (Morecroft & Woodward, 1996; Rowland, 2001) и може водити до диверзификујуће селекције. Дакле, различите средине могу изазвати диференцијацију између популација у погледу величине листа, и због алометрије,

у погледу облика листа. Ово објашњава улогу алометрије листа у адаптацији популација биљака на различите средине и морфолошку диференцијацију дуготрајно изолованих популација (Viscosi, 2015). Такође, на различитим надморским висинама, биљке су под утицајем различитих вредности ваздушног притиска – редукција притиска на већим надморским висинама смањује парцијални притисак кисеоника, смањујући притисак водене паре и повећавајући атмосферску трансмисију сунчевих зрака (Xu et al., 2021), на тај начин утичући на фотосинтетичке параметре.

На основу резултата ове докторске дисертације, уочене су везе између вредности нагиба терена и величине и облика листова свих анализираних врста осим сладуна. Ово се првенствено односило на веће вредности флукутирајуће асиметрије на мањим нагибима терена код медунца, већу заобљеност и смањену режњевитост листова на већим нагибима терена код цера, као и на присуство широких листова са мање израженим режњевима на већим нагибима терена код китњака. У погледу експозиције, само ширина листа доприносила је разликама међу индивидуама код свих анализираних врста, указујући на присуство већих листова на јужној експозицији. Стране окренуте северу су влажније и хладније, са већом количином органских материја и дубљим земљиштем, изложеније ерозији. Пошто поменути услови значајно утичу на вегетацију кроз модификацију локалних услова станишта, резултати ове докторске дисертације указују да су храстови на Космају под утицајем срединских фактора и да показују значајну фенотипску пластичност као одговор на захтеве станишта.

Опсервирани обрасци варијабилности и њихова корелација са условима станишта отвара врата за истраживање читавог низа потенцијалних фактора који утичу на структуру и динамику храстових шума. У Европи, храстове шуме су под утицајем већег броја фактора, од којих су климатске промене међу најзначајнијим, првенствено због повећања просечних годишњих температура и екстремних климатских догађаја. Ови екстремни догађаји, заједно са интензивном деградацијом станишта, утичу на смањење површина под шумама смањујући њихову виталност, раст и продуктивност (Petritan et al., 2021). Балканско полуострво представља једно од најзначајнијих области у Европи у погледу филогеније рода *Quercus* L. У овој области дошло је до постгласијалне, посттерцијарне и терцијарне еволуције европских врста храстова, првенствено због рефугијалне природе ове области, специфичне климе и рељефа. Ксеротермизација климе на Балканском полуострву од терцијара па до данас последица је глобалних климатских промена и антропогених утицаја, као што је уништавање шума и деградација земљишта, посебно у брдским и планинским областима. Услед повећане ксеротермизације климе, постоји растући тренд код представника рода *Quercus* L. да стварају све ксерофилније и ксероморфније облике са редукованим листовима са дубоким усецима, редукованом транспирационом површином и повећаном длакавошћу листова и изданака (Janković 1973; Sabaté et al., 2002). Такође, истраживање морфолошке (Jovanović 2000; Franjić et al., 2006) и генетичке варијабилности (Ballian et al., 2010) храстова са Балканског полуострва указују на њихову велику варијабилност. На пример, код медунца, једног од најугроженијих истраживаних храстова у овој докторској дисертацији, сматра се да су постгласијална миграција, природна селекција, антропогене активности и адаптације на промене средине, укључујући и климу, главни разлози повећане варијабилности. Стога, варијабилност листа истраживаних врста храстова може бити резултат адаптације на промену климе, имајући у виду да се у последњих пет деценија просечна годишња температура на подручју планине Космај повећала, а падавине су веома варирале (Stajić,

2016). Ово наглашава потребу дугорочног мониторинга варијабилности храстова у овој области, и њихово повезивање са променама климатских карактеристика подручја.

Спроведене молекуларно-генетичке анализе су имале за циљ **утврђивање неутралне варијабилности** четири врсте храстова (китњака, медунца, сладуна и цера) на подручју ПИО „Космај”, а добијени резултати (Šijačić-Nikolić, 2023; Šijačić-Nikolić et al. 2023) су искоришћени за процену генетичког статуса и генетичке структуре популација испитиваних врста храстова.

Уочена је разлика у броју успешно умножених молекуларних маркера код китњака, медунца и сладуна с једне стране, и цера са друге стране, која се може приписати давној дивергенцији ове две групе, које се данас сврставају у различите секције (Sect. *Quercus* и Sect. *Cerris*). Након дивергенције група, еволутивна историја сваке групе одвија се независно, и акумулација мутација у једној групи се не подудара са акумулацијом мутација у другој групи. У том смислу, могуће је да су се код цера акумулирале мутације у местима везивања прајмера коришћених нуклеарних микросателита, или да су региони генома у којима су присутни поједини молекуларни маркери коришћени у овој студији претрпели одређене промене, које су резултирале изостанком умножавања појединих нуклеарних микросателита. Код китњака, медунца и сладуна успешно је умножено 14 од 20 одабраних молекуларних маркера, а број нултих алела био је занемарљив (0,89%), што говори у прилог ранијих навода о успешној међуврсној трансферабилности ових локуса код храстова (Durand et al. 2010). Такође, број алела детектованих код 14 нуклеарних микросателита коришћених у овој студији код китњака, медунца и сладуна је у складу са ранијим наводима о вредностима овог параметра генетичког диверзитета датих локуса код испитиваних врста храстова (нпр., Muir & Schloetterer, 2005; Curtu et al., 2007; Salvini et al., 2009; Neophytou et al., 2010; Alberto et al., 2010; Katičić Bogdan et al., 2018).

Свеукупно, вредности параметра генетичког диверзитета код све четири врсте храстова указују да се популације датих врста одликују високим нивоом генетичког диверзитета, који је упоредив са нивоом генетичког диверзитета код датих врста храстова генерисаних применом истог типа молекуларних маркера који су добијени у ранијим истраживањима (нпр., Muir & Schloetterer, 2005; Curtu et al., 2007; Salvini et al., 2009; Neophytou et al., 2010; Alberto et al., 2010; Katičić Bogdan et al., 2018). На пример, сличне вредности хетерозиготности за китњак, сладун и медунац забележене су од стране различитих аутора широм Европе – код китњака из централне Европе и Балканског полуострва (Neophytou et al., 2010), код медунца у Италији (Di Pietro et al., 2020), и код медунца и сладуна у Румунији (Curtu et al., 2011). Цер се, са друге стране, одликовао нешто нижим нивоом генетичког диверзитета у поређењу са испитиваним популацијама китњака, медунца и сладуна, али је и даље у опсегу вредности опсервираних у другим истраживањима (нпр. Özer, 2014; Bertolasi et al., 2023).

Иако је код свих испитиваних популација храстова на подручју ПИО „Космај” уочен статистички значајан коефицијент инбридинга, добијени резултат не одражава висок степен укрштања у сродству већ Валундов ефекат, односно, субструктуру популација, бар у случају китњака, медунца и цера. Субструктура популације медунца и сладуна показала је да испитивана популација китњака садржи две дистинктне генетичке групе, а популација медунца три дистинктне генетичке групе. Субструктура испитиване популације цера показала је да популација цера обухвата четири генетичке групе.

Наведени резултати говоре у прилог комплексној генетичкој структури китњака, медунца и цера на подручју ПИО „Космај”, док се испитивана популација сладуна може окарактерисати као генетички кохерентна. Такође, код китњака, медунца и сладуна уочено је постојање генетичке диференцијације. С обзиром да је међуврсна хибридизација различитих врста храстова опште познат феномен (нпр., Curtu et al., 2007; Salvini et al., 2009; Ortego & Bonal 2010; Neophytou et al., 2010), добијени резултати указују на то да су наведене врсте храстова, и поред тога што су присутне у симпатрији на истом станишту, задржале свој генетички интегритет.

Како анализа генетичке (адаптивне и неутралне) варијабилности храстова на подручју ПИО „Космај” за крајњи циљ има очување генофонда, идентификација најизраженијих негативних фактора који делују у овој области, као и дефинисање циљева, приоритета и мера њиховог очувања су још један од резултата опсежних истраживања спроведених у оквиру ове докторске дисертације.

Добијени резултати у складу су са циљевима, приоритетима и мерама очувања шумских генетичких ресурса које су дефинисали Šijačić-Nikolić et al. (2016). Према овим ауторима, сумарно посматрано, очување шумских генетичких ресурса на територији Републике Србије зависи од развоја свести становништва о овој проблематици, начина финансирања активности очувања, као и адекватног ангажовања стручног кадра. Дефинисање главних циљева, приоритета и мера очувања генетичких ресурса аутохтоних врста храстова на подручју ПИО „Космај”, стога, обухвата комплекс различитих стратегија и активности које за циљ имају трајну егзистенцију, еволуцију и доступност генетичких ресурса храстова за садашње и будуће генерације.

Поред јасног дефинисања активности везаних за очување и усмерено коришћење генетичких ресурса храстова на подручју ПИО „Космај”, поштовање и унапређење конзервационих принципа у газдовању шумама, унапређење производње репродуктивног материјала, промоција и упознавање јавности са значајем одрживог коришћења генетичких ресурса храстова, као и поштовање међународних и националних прописа и стратегија, од кључног су значаја за очување аутохтоних врста храстова на Космају. Такође, на Космају, који је под израженим антропогеним утицајем (посебно погођен деградацијом станишта, ширењем инвазивних врста, загађењем и климатским променама), усмерено коришћење генофонда храстова, кроз *in situ* и *ex situ* очување намеће се као један од кључних корака у заштити генетичког диверзитета. Ово је у складу са Šijačić-Nikolić & Milovanović (2007) и Šijačić-Nikolić et al. (2016), који наглашавају да су главни циљеви газдовања шумским генетичким ресурсима побољшање услова за еволутивне промене код шумског дрвећа (као вид адаптације на промене у животној средини) и редукција генетичке ерозије.

6. ЗАКЉУЧЦИ

Резултати ове докторске дисертације потврдили су главну хипотезу да је степен међу- и унутарврсне генетичке варијабилности храстова на подручју ПИО „Космај” резултат утицаја генотипа, локалних услова станишта, стања животне средине, начина газдовања популацијама и историјских процеса кроз које су истраживане популације прошле. Резултати су показали да је генетичка варијабилност храстова на подручју ПИО „Космај” повезана са карактеристикама станишта, стањем животне средине и начинима газдовања популацијама храстова, да постоји усклађеност резултата добијених применом адаптивних и неутралних генетичких маркера, као и усклађеност добијених резултата са раније публикованим подацима о генетичкој варијабилности храстова.

На основу резултата докторске дисертације, потврђена је хипотеза да је адаптивна варијабилност храстова на подручју ПИО „Космај” повезана са карактеристикама станишта, које, поред тога што диктирају распоред вегетације на истраживаном подручју, утичу и на диверзитет у свакој од одабраних популација.

Адаптивна генетичка варијабилност, представљена помоћу морфолошких карактеристика, уско је повезана са адаптабилношћу и одражава стратегије преживљавања. Процена морфолошких карактеристика успостављањем математичких модела, посебно геометријских и статистичких, важан је метод истраживања у области морфологије. Математичка анализа површине и облика листова и других морфолошких карактеристика успостављањем ових модела је од велике помоћи за разумевање стратегија преживљавања. Такође, важно је проучавање функционалних својстава на већим просторним скалама да би се стекао бољи увид у то како се елементи морфологије прилагођавају променама животне средине. Резултати ове докторске дисертације, који су показали висок степен морфолошке варијабилности листа храстова са подручја ПИО „Космај” и повезали варијабилност са условима станишта добијеним помоћу дигиталног модела терена, изузетна су прилика за опсервацију везе морфологије и животне средине, која се може користити у сврху конзервације шумских генетичких ресурса. На основу резултата, повезивање морфологије и станишта са основним принципима газдовања шумама на Космају један је од приоритета који се намећу у будућности.

Генерално, резултати истраживања адаптивне варијабилности храстова на подручју ПИО „Космај” показали су:

- присуство значајних разлика у величини и облику листа између цера, китњака, медунца и сладуна,
- присуство варирања флукутирајуће асиметрије листа код цера и медунца и у нешто мањој мери код китњака и сладуна,
- негативну корелацију величине листа (дужине, ширине, површине) са режњевитошћу (мањи листови имају израженије режњеве) код свих врста, осим код сладуна,
- јасне обрасце међуврсне варијабилности у облику – узак доњи и широк горњи део лисне плоче код сладуна, уска и зашиљена лисна плоча код цера, дугачка лисна

дршка и мала разлика у ширини горњег и доњег дела лисне плоче код медунаца и китњака.

Највеће варирање код свих врста забележено је за флукутирајућу асиметрију, која представља показатељ разлика између леве и десне стране листа, указујући на постојање листова са израженом симетријом, али и оних код којих је била присутна асиметрија. У погледу корелација, флукутирајућа асиметрија је показала највеће разлике међу врстама – негативно је била корелисана са циркуларношћу и солидношћу код цера, са заобљеношћу и солидношћу код китњака, док код медунаца и сладуна није била корелисана са другим параметрима. Једино је код цера забележен статистички значајан ефекат селекционисане индивидуе на флукутирајућу асиметрију, док је код медунаца био на граници статистичке значајности. На основу резултата истраживања, уочава се да је флукутирајућа асиметрија била најизраженија код цера, а најмање изражена код китњака. Једино код цера је овај параметар показао разлике међу индивидуама.

Најмање варирање код свих врста забележено је за солидност, параметар који представља показатељ режњевитости листа. Солидност је имала најмање вредности код сладуна, код кога су режњеви били најизраженији, а највеће вредности код цера, који се одликовао најслабије израженим режњевима. Заобљеност листа, као и циркуларност (однос површине и обима) код свих врста су биле позитивно корелисане са солидношћу.

Корелације међу параметрима величине листа показале су да је код свих врста присутна позитивна корелација између дужине и ширине, дужине и површине и дужине и односа дужина/ширина, указујући да се са порастом дужине, ширина и површина такође повећавају. Супротно поменутом, код свих врста, осим сладуна, забележена је негативна корелација између дужине и заобљености, циркуларности и солидности, указујући да су дужи листови мање заобљени и са слабије израженим режњевима. Ширина и површина пратиле су исти образац корелација као и дужина. Поменути образац варијабилности био је присутан код свих анализираних врста осим код сладуна, где су већи листови (веће дужине, ширине и површине) имали израженије режњеве.

Прокрстова анализа варијансе је код сваке врсте указала да и величина и облик утичу на морфолошку варијабилност. Анализа гроздовања параметара листа, контуре добијене елиптичном Фуријеовом анализом и анализа главних компоненти специфичних тачака визуелно су представиле обрасце груписања међу индивидуама код сваке врсте. Међу врстама, јасни обрасци варијабилности су уочени – сладун је имао узак доњи и широк горњи део лисне плоче и кратку лисну дршку, цер је имао уску и зашиљену лисну плочу, док су медунац и китњак имали дужу лисну дршку и мању разлику у ширини горњег и доњег дела лисне плоче.

Резултати истраживања везе морфологије листа и параметра животне средине, добијени коришћењем дигиталног модела терена, показали су следеће:

- На највећој надморској висини узорковани су листови китњака, али мере листова једино ове врсте нису показале статистички значајне корелације са надморском висином. Код сладуна, који је узоркован на најмањој надморској висини, овај показатељ је био позитивно корелисан са мерама које описују величину листа (дужина, ширина, површина), што указује да се са порастом надморске висине повећавала и величина листа. Листови цера и медунаца, са друге стране, показали су негативне корелације са заобљеношћу, циркуларношћу и солидношћу које описују облик листа, указујући да се са повећањем надморске висине режњевитост листа смањивала. Поред поменутог, код цера је забележена позитивна корелација дужине

листа и надморске висине, указујући на повећање дужине са повећањем надморске висине.

- Медунца је узоркован на најмањим вредностима нагиба терена, а сладун на највећој. Код медунца, постојала је негативна корелација нагиба терена и флукутирајуће асиметрије, указујући на веће вредности овог параметра на мањим нагибима. Са друге стране, код сладуна ни један параметар није био корелисан са нагибом терена. Код цера, заобљеност и циркуларност листа биле су позитивно корелисане са нагибом терена, указујући да је на већим нагибима лист заобљенији и са мање израженим режњевима. Код китњака, ширина листа и циркуларност биле су позитивно корелисане са нагибом терена, указујући на већу ширину и мање изражене режњеве на већим нагибима терена.
- Највећи број индивидуа у целом узорку храстова узоркован је на јужној експозицији, а најмањи на источној. Мале разлике су забележене између категорија експозиције, са само једним параметром (ширина листа) који је доприносио разликама. Ширина листа је, заправо, одвојила индивидуе узорковане на источној експозицији од осталих, сугеришући да се на овој експозицији јављају листови већих димензија. Код поменутих индивидуа, уочена је и позитивна корелација односа дужина/ширина листа и циркуларности, указујући да што је мањи однос дужине и ширине, режњевитост листа је мање изражена.

Резултати докторске дисертације су, такође, **потврдили хипотезу да постоји усклађеност резултата добијених применом адаптивних и неутралних генетичких маркера.**

Као и резултати анализе адаптивне варијабилности, и резултати анализе неутралне варијабилности храстова, показали су да се на подручју ПИО „Космај” четири анализиране врсте храстова одликују високим нивоима генетичког диверзитета, који је предуслов за њихово преживљавање.

Генерално, резултати истраживања неутралне варијабилности храстова на подручју ПИО „Космај” показали су:

- Код китњака, медунца и сладуна успешно је умножено 14 од 20 одабраних молекуларних маркера, а број нултих алела био је занемарљив (0,89%). С обзиром да је свих 14 локуса успешно умножено код три врсте храстова, било је могуће поређење ових врста. Код цера је, међутим, успешно умножено свега пет од 20 нуклеарних микросателита, а број нултих алела није био занемарљив (20,11%).
- Генотипизација је успешно обављена код 218 индивидуа четири врсте храстова са подручја ПИО „Космај”, и то код 52 од 60 селекционисаних индивидуа китњака (86,67%), 53 од 65 селекционисаних индивидуа медунца (81,54%), 55 од 62 селекционисане индивидуе сладуна (88,71%), и 58 од 60 селекционисаних индивидуа цера (96,67%).
- Код 160 индивидуа китњака, медунца и сладуна детектовано је укупно 314 алела на 14 локуса, а код 58 индивидуа цера 79 алела на 5 локуса. Као најинформативнији локус код китњака, медунца и цера издвојио се локус QrZAG90, код којег је код свих испитиваних врста детектован највећи број алела по локусу, као и највећи ефективни број алела по локусу, који указује на присуство већег броја високо фреквентних алела и мањег броја ниско фреквентних алела. Као најмање информативан показао се локус PIE239 код китњака, локус QrZAG108 код

медунца, и локус QrZAG87 код сладуна. Код цера се као најмање информативан показао локус MSQ13, а као најинформативнији локус QpZAG110.

- Процењена вредност параметра богатство алела добијена по методи рарефакције за 98 копија гена код китњака, медунца и сладуна кретала се у опсегу од 14,76 код сладуна, до 17,54 код китњака, са просеком од 16,34 алела по локусу за популације китњака, медунца и сладуна. Најнижа вредност код медунца и највиша код китњака, уочена је код параметра добијена хетерозиготност (0,731, S.E. = 0,051 наспрам 0,753, S.E. = 0,053), док је најнижа вредност параметра ефективна величина популације уочена код медунца (305,5, 190,2; 719,2), а највиша код сладуна (∞ , 1859,9; ∞). Код цера су детектоване најниже вредности параметара просечан број алела по локусу, добијена и очекивана хетерозиготност, па се стога може рећи да се испитивана популација одликује нешто нижим нивоом генетичког диверзитета у поређењу са испитиваним популацијама китњака, медунца и сладуна.
- Субструктура популације медунца и сладуна уочена је у STRUCTURE анализи, која је показала да испитивана популација китњака садржи две дистинктне генетичке групе, а популација медунца три дистинктне генетичке групе. Субструктура испитиване популације цера уочена је у PCoA анализи, и обухвата четири генетичке групе.
- Ниске, али статистички значајне вредности F_{ST} параметра између испитиваних популација китњака, медунца и сладуна говоре у прилог постојања генетичке диференцијације између наведених врста храстова.

На основу приказаних резултата може се констатовати да се популације китњака, медунца, сладуна и цера на подручју ПИО „Космај” одликују различитим, али високим нивоом генетичког диверзитета, што представља предуслов за њихов дугорочни опстанак, нарочито у условима климатских промена. Такође, и поред присуства у симпатрији, све четири врсте храстова су задржале генетички интегритет, што је резултирало израженом генетичком структуром, која се огледа и у постојању субструктуре популација китњака, медунца и цера. Зато се може закључити да се опстанак популација испитиваних врста храстова на подручју ПИО „Космај” не доводи у питање са аспекта неутралне варијабилности.

Резултати докторске дисертације потврдили су хипотезу да је генетичка варијабилност храстова на подручју ПИО „Космај” повезана са стањем животне средине и начинима газдовања њиховим популацијама.

Конзервација шумских генетичких ресурса и одрживо газдовање шумама захтева добро познавање нивоа и дистрибуције генетичког диверзитета, посебно у областима које су под интензивним антропогеним утицајем, као што је случај са Космајем. Иако су храстови способни за високе стопе локалних адаптација, њихова дуговечност и имобилност чине их рањивим на брзе промене у животној средини. Високи нивои генетичког диверзитета код храстова са подручја ПИО „Космај” (уочени на основу анализа адаптивне и неутралне варијабилности) фаворизују брзу адаптацију, а резултат ове локалне адаптације је фенотип који је оптималан у односу на срединске притиске и који поседују највећи фитнес.

Истраживања спроведена у овој докторској дисертацији омогућила су идентификовање главних фактора угрожавања генетичких ресурса хрстова на подручју ПИО „Космај“:

- губитак и деградација станишта;
- присуство и ширење алохтоних врста;
- загађење животне средине;
- климатске промене;
- прекомерна експлоатација шумских ресурса.

Ово указује на неопходност спровођења различитих конзервационих активности, пре свега *in situ* конзервацију, која представља први корак у очувању и одрживом коришћењу генетичких ресурса аутохтоних хрстова на Космају.

Резултати докторске дисертације **потврдили су хипотезу да постоји усклађеност добијених резултата са публикованим подацима о генетичкој варијабилности хрстова.**

На основу прегледа литературних података публикованих за различите врсте хрстова, уочљиво је да се обрасци морфолошке варијабилности, као и нивои генетичког диверзитета уопште, уклапају у нивое опсервиране од стране других аутора на територији Европе и шире. Адаптивна и неутрална генетичка варијабилност су у директној вези са систематиком и посредно са конзервацијом одређених таксона. Систематика и конзервација су уско повезане области подржане проучавањем морфологије, еволуције и класификације. Методе у систематици биљака се мењају, јер нова технолошка достигнућа нуде ефикасније и моћније алате за продубљивање знања и пружање боље подршке планирању и конзервацији, а континуирано опадајући диверзитет врста главна је брига истраживача, координатора заштите и креатора политика и планова очувања. Стога је кључни корак у конзервацији генетичког диверзитета хрстова, поред праћења савремених трендова у истраживању, инкорпорирање постојећих образаца варијабилности опсервираних на локалном нивоу у оне опсервиране на регионалном и/или глобалном нивоу.

На основу потврђених хипотеза, **испуњен је и циљ истраживања докторске дисертације, који је обухватао карактеризацију еколошког и конзервационог статуса четири врсте хрста на подручју ПИО „Космај“ и дефинисање конкретних мера конзервације, као и еколошких и конзервационих принципа газдовања њиховим популацијама.**

Истраживања на подручју ПИО „Космај“ дала су увид у састав врста хрстова у овој области, као и у опште стање њихових популација. Ослањајући се на јасно препознавање различитих врста и њихових ограничења на подручју Космаја, очување врста у овој области далеко превазилази класично обезбеђивање генетичке разноврсности популација и екосистема. Међутим, проучавање генетичког диверзитета је први и кључни корак за успостављање успешних стратегија очувања, јер без истинског разумевања свеукупног биодиверзитета, све процедуре и покушаји очувања остају непотпуни и фрагментирани.

Истраживања су омогућила дефинисање приоритета за конзервацију генетичких ресурса истраживаних врста хрстова на подручју ПИО „Космај“:

1. ширење знања и информација о негативним утицајима на генетичке ресурсе истраживаних врста храстова;
2. проширивање знања и информација о значају и улогама генетичких ресурса истраживаних врста храстова ради смањења негативних ефеката;
3. побољшавање постојећих стратешких и правних оквира у конзервацији генетичких ресурса истраживаних врста храстова;
4. увођење *in situ* конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова;
5. увођење *ex situ* конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова;
6. побољшање интегралног приступа конзервацији генетичких ресурса истраживаних врста храстова ради смањења негативних ефеката;
7. инклузија приступа конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова у систем газдовања шумама;
8. јачање капацитета институција и организација ради разумевања значаја конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова;
9. подизање свести о конзервацији генетичких ресурса истраживаних врста храстова;
10. еколошки и економски аспекти конзервације генетичких ресурса истраживаних врста храстова.

На основу дефинисаних десет приоритета за конзервацију генетичких ресурса истраживаних врста храстова, уочљиво је да газдовање шумама на подручју ПИО „Космај”, у сврху побољшања продукције и унапређења заштите, мора бити комбиновано са добрим планирањем и координацијом активности на националном, локалном и регионалном нивоу. Очување биолошке разноврсности шума, која укључује генетичке ресурсе истраживаних храстова, од суштинског је значаја за одржавање производне вредности шума, као и за одржавање здравља и виталности шумских екосистема, а самим тим и за одржавање њихове заштитне, еколошке и културне функције. Велика претња шумским екосистемима на Космају је коришћење шумског земљишта у друге сврхе. Све већи притисак људске популације која тежи вишим животним стандардима, без балансирања одрживости коришћења ресурса која подупире такав развој, доводи до бројних изазова. Неизбежно је да ће у будућности доћи до промена у коришћењу земљишта, али такве промене треба планирати како би се обезбедило постизање комплементарних циљева очувања и развоја. Ово се може спровести интензивирањем заштите на подручју ПИО „Космај”, као главне компоненте у планирању коришћења земљишта и стратегијама управљања ресурсима. Тренутно, главни проблем у постизању циљева очувања је недостатак адекватних институционалних и политичких оквира који омогућавају разматрање избора о коришћењу земљишта и оперативно управљање, који су правични према свим заинтересованим странама и који се могу ефикасно спроводити, надгледати и редовно прилагођавати новонасталим ситуацијама.

Одлуке о очувању генетичких ресурса храстова не треба доносити изоловано, већ као саставну компоненту планова управљања заштићеним природним добром и основа за газдовање шумама. Кључ успеха лежи у развоју програма који усклађују очување и одрживо коришћење биолошке разноврсности и генетичких ресурса храстова у оквиру „мозаика” опција коришћења земљишта. Одрживост деловања током времена мора бити заснована на покушајима да се задовоље потребе и аспирације свих заинтересованих страна, што захтева блиску и континуирану сарадњу, дијалог и укључивање заинтересованих у планирање и извршење програма.

Ефикасна конзервација генетичких ресурса храстова на подручју ПИО „Космај” захтева координисане напоре сектора шумарства и заштите животне средине и природе. Важан циљ је одређивање приоритетних врста, популација и подручја за очување генетичких ресурса храстова у виду *ex situ* и *in situ* конзервације у оквиру кохерентног програма и у складу са националним политикама и биолошким могућностима сваке врсте.

Не постоје фундаменталне техничке препреке за постизање циљева очувања које се не могу превазићи. Последњих година покренуте су бројне активности на очувању и одрживом коришћењу генетичких ресурса храстова на Космају – ова докторска дисертација је један од резултата студије под називом «*Идентификовање, праћење и конзервација генофонда ендемичних, ретких и угрожених дрвенастих врста на подручју ПИО „Космај”*», финансиране од стране Градске управа града Београда – Секретаријата за заштиту животне средине (Уговор број V-01 4011-119), чији је извршилац Шумарски факултет Универзитета у Београду. Међутим, практична искуства многих других активности недовољно су документована, а стеченом знању се посвећује мало пажње и ретко се примењује у већем обиму. Искуство показује да опрезне и благовремене мере и програми засновани на најбољем расположивом знању могу да дају витални допринос очувању генетичких ресурса храстова. Стога је од највеће важности да ово искуство, заједно са тренутним знањем о теорији очувања, буде широко доступно у облику генерализованих смерница и процедура.

7. ЛИТЕРАТУРА

- 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 varijabilnost hrasta 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., Čalić, I., Pavićević, D., Lakušić, D. 2005. Staništa Srbije – Priručnik sa opisima i osnovnim podacima. Rezultati projekta “Harmonizacija nacionalne nomenklature 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 of hybrids 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 of the 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 CO₂ 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.
- Čurčić, 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 evidence from 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., Ikarán, 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 quality 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 of the 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 Urban Development: 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., Šošarić, 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 of 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., Čalić, 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. Evolucionarna 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 geometric 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. Usporedna 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., Ducouso, 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 Britannicum, 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 Britannicus A new edition. A. Spottiswoode, London, pp. 491-704.
- Lukinović, M., Jovanović, L. 2020. Birdwatching as a new resource for Serbian eco-tourism 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 the northern 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. Contribution to the knowledge of the fauna of bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: 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, Doktorska 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 $\delta^{13}\text{C}$ 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., Schlotterer, 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. Detecting interspecific and geographic differentiation patterns in two interfertile oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L.) using small sets 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 sectional names. *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-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. 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.
- Peñaloza-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 oak woods in northern Italy. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali* 32: 549-564.
- Protić, L.J. 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 (*Quercus petraeae-Carpinetum betuli* Rudski 1949. s.l.) in the area of Kosmaj. *Sustainable Forestry* 81-82: 41-51.

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

Stajić, S., Cvjetičanin, 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 bioindikator 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-matematički 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 morphological analyses 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. ПРИЛОЗИ

Прилог 1. Флористички састав заједнице сладуна и цера (према Stajić, 2016)

Заједница сладуна и цера (<i>Quercetum frainetto-cerridis</i> Rudski 1949.)	
Спрат дрвећа	едификатори цер (<i>Quercus cerris</i>), сладун (<i>Quercus frainetto</i>)
	субедификатори китњак (<i>Quercus petraea</i>), медунац (<i>Quercus pubescens</i>)
	црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraster</i>).
Спрат жбуња	<p>највише присутни: једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), дивља ружа (<i>Rosa canina</i>), калина (<i>Ligustrum vulgare</i>), трњина (<i>Prunus spinosa</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), дрен (<i>Cornus mas</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraster</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), сладун (<i>Quercus frainetto</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>).</p> <p>мање присутни: медунац (<i>Quercus pubescens</i>), свиб (<i>Cornus sanguinea</i>), орах (<i>Juglans regia</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), жешља (<i>Acer tataricum</i>), брекиња (<i>Sorbus torminalis</i>).</p> <p>ретко присутни: дивља јабука (<i>Malus sylvestris</i>), оскоруша (<i>Sorbus domestica</i>), јасика (<i>Populus tremula</i>), пољска ружа (<i>Rosa arvensis</i>), бели јасен (<i>Fraxinus excelsior</i>), орлови нокти (<i>Lonicera caprifolium</i>), <i>Rosa deseglisei</i>, павит (<i>Clematis vitalba</i>).</p>
Спрат приземне флоре	подмладак цера (<i>Quercus cerris</i>), кукурек (<i>Helleborus odorus</i>), шумска пасјача (<i>Brachypodium sylvaticum</i>), талац (<i>Calamintha vulgaris</i>), шумска јагода (<i>Fragaria vesca</i>), дивља ружа (<i>Rosa canina</i>), длакава купина (<i>Rubus canescens</i>), длакава љубичица (<i>Viola hirta</i>), ајдучица (<i>Mycelis muralis</i>), зечја стопа (<i>Geum urbanum</i>), орлови нокти (<i>Lonicera caprifolium</i>), бљушт (<i>Tamus communis</i>), противак (<i>Lysimachia punctate</i>), смрекаста млечика (<i>Euphorbia cyparissias</i>), срцолисна чешњача (<i>Alliaria officinalis</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), репуњача (<i>Lapsana communis</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), баршунаста пуцавица (<i>Lychnis coronaria</i>), вијушац (<i>Bilderdykia convolvulus</i>), вијук (<i>Festuca ovina</i>), горска ливадарка (<i>Poa nemoralis</i>), звончица (<i>Campanula patula</i>).

Прилог 2. Флористички састав заједнице цера са црним јасеном (према Stajić, 2016)

Заједница цера са црним јасеном (<i>Fraxino orní-Quercetum cerridis</i> Stefanović 1968.)	
Спрат дрвећа	едификатори цер (<i>Quercus cerris</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>) пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraster</i>), сребрна липа (<i>Tilia tomentosa</i>).
Спрат жбуња	црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), дрен (<i>Cornus mas</i>), глог (<i>Crataegus monogyna</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), калина (<i>Ligustrum vulgare</i>), трњина (<i>Prunus spinosa</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraster</i>), дивља ружа (<i>Rosa canina</i>), свиб (<i>Cornus sanguinea</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), орах (<i>Juglans regia</i>), црна зова (<i>Sambucus nigra</i>), сребрна липа (<i>Tilia tomentosa</i>).
Спрат приземне флоре	највише присутни: подмладак цера (<i>Quercus cerris</i>), шумска пасјача (<i>Brachypodium sylvaticum</i>), кукурек (<i>Helleborus odorus</i>), шумска јагода (<i>Fragaria vesca</i>), танколисна шпаргла (<i>Asparagus tenuifolius</i>), срцолисна чешњача (<i>Alliaria officinalis</i>), броћика (<i>Galium aparine</i>), вијушац (<i>Bilderdykia convolvulus</i>), зецја стопа (<i>Geum urbanum</i>), дивља ружа (<i>Rosa canina</i>), длакава љубичица (<i>Viola hirta</i>), шумска млечика (<i>Euphorbia amygdaloides</i>), клен (<i>Acer campestre</i>). мање присутни: црвени здравац (<i>Geranium robertianum</i>), талац (<i>Calamintha vulgaris</i>), сузица (<i>Melica uniflora</i>), зализ (<i>Polygonatum odoratum</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), дивља паприка (<i>Cynanchum vincetoxicum</i>), птичје млеко (<i>Ornithogalum pyramidale</i>), оштрика (<i>Carex divulsa</i>), длакава купина (<i>Rubus canescens</i>), калина (<i>Ligustrum vulgare</i>), коприва (<i>Urtica dioica</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), бела љубичица (<i>Viola alba</i>), орлови нокти (<i>Lonicera caprifolium</i>), репуњача (<i>Lapsana communis</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraster</i>), павловац (<i>Aremonia agrimonoides</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>).

Прилог 3. Флористички састав заједнице китњака и цера (према Stajić, 2016)

Заједница китњака и цера (<i>Quercetum petraeae-cerridis</i> В. Јовановић 1979. s.l.)	
Спрат дрвећа	едификатори китњак (<i>Quercus petraea</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>)
	клен (<i>Acer campestre</i>), сладун (<i>Quercus frainetto</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), буква (<i>Fagus moesiaca</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), бели јасен (<i>Fraxinus excelsior</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraeaster</i>), јасика (<i>Populus tremula</i>).
Спрат жбуња	<p>највише присутни: црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>).</p> <p>мање присутни: дрен (<i>Cornus mas</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), трњина (<i>Prunus spinosa</i>), свиб (<i>Cornus sanguinea</i>), дивља ружа (<i>Rosa canina</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), калина (<i>Ligustrum vulgare</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraeaster</i>), вишесемени глог (<i>Crataegus oxyacantha</i>), црна зова (<i>Sambucus nigra</i>), леска (<i>Corylus avellana</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), бели јасен (<i>Fraxinus excelsior</i>), брадавичаста курика (<i>Euonymus verrucosus</i>), јасика (<i>Populus tremula</i>), дуњарица (<i>Cotoneaster integerrimus</i>), курика (<i>Euonymus europaeus</i>), горски јавор (<i>Acer pseudoplatanus</i>), сладун (<i>Quercus frainetto</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>).</p>
Спрат приземне флоре	<p>највише присутни: шумска пасјача (<i>Brachypodium sylvaticum</i>), ајдучица (<i>Mycelis muralis</i>), орлови нокти (<i>Lonicera caprifolium</i>), кукурек (<i>Helleborus odorus</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), бљушт (<i>Tamus communis</i>).</p> <p>мање присутни: црвени здравац (<i>Geranium robertianum</i>), вилина трава (<i>Circaea lutetiana</i>), длакава купина (<i>Rubus canescens</i>), дивља ружа (<i>Rosa canina</i>), шумска млечика (<i>Euphorbia amygdaloides</i>), талац (<i>Calamintha vulgaris</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), срцолисна чешњача (<i>Alliaria officinalis</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), зечја стопа (<i>Geum urbanum</i>), вијушац (<i>Bilderdykia convolvulus</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), шумска јагода (<i>Fragaria vesca</i>).</p>

Прилог 4. Флористички састав заједнице китњака и граба (према Stajić, 2016)

Заједница китњака и граба (<i>Quercus petraeae-Carpinetum betuli</i> Rudski 1949. s.l.)	
Спрат дрвећа	едификатори китњак (<i>Quercus petraea</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>) највише присутни: црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>). ретко присутни: клен (<i>Acer campestre</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), сладун (<i>Quercus frainetto</i>).
	граб (<i>Carpinus betulus</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), вишесемени глог (<i>Crataegus oxyacantha</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), дрен (<i>Cornus mas</i>), калина (<i>Ligustrum vulgare</i>), оштролисна кострика (<i>Ruscus aculeatus</i>), дивља ружа (<i>Rosa canina</i>), трњина (<i>Prunus spinosa</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), свиб (<i>Cornus sanguine</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraeaster</i>).
Спрат приземне флоре	китњак (<i>Quercus petraea</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), оштролисна кострика (<i>Ruscus aculeatus</i>), бљушт (<i>Tamus communis</i>), шумска млечика (<i>Euphorbia amygdaloides</i>), брадавичак (<i>Cardamine bulbifera</i>), шумска пасјача (<i>Brachypodium sylvaticum</i>), бршњан (<i>Hedera helix</i>), длакава добричица (<i>Glechoma hirsuta</i>), трепљаста оштрика (<i>Carex pilosa</i>), шумска оштрика (<i>Carex sylvatica</i>), црвенопега трстика (<i>Chaerophyllum temulum</i>), вишесемени глог (<i>Crataegus oxyacantha</i>), граор (<i>Lathyrus venetus</i>), кукурек (<i>Helleborus odoratus</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), орлови нокти (<i>Lonicera caprifolium</i>), шумска јагода (<i>Fragaria vesca</i>), вијушац (<i>Bilderdykia convolvulus</i>), ајдучица (<i>Mycelis muralis</i>), пузава ивица (<i>Ajuga reptans</i>).

Прилог 5. Флористички састав заједнице брдске букве (према Stajić, 2016)

Заједница брдске букве (<i>Helleboro odori-Fagetum moesiaca</i> Soo & Borhidi 1960)	
Спрат дрвећа	едификатори буква (<i>Fagus moesiaca</i>)
	ретко присутни: цер (<i>Quercus cerris</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraeaster</i>), сладун (<i>Quercus frainetto</i>).
Спрат жбуња	црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), оштролисна кострика (<i>Ruscus aculeatus</i>), бели јасен (<i>Fraxinus excelsior</i>), буква (<i>Fagus moesiaca</i>).
Спрат приземне флоре	подмладак букве (<i>Fagus moesiaca</i>), жута мртва коприва (<i>Lamium galeobdolon</i>), брадавичак (<i>Cardamine bulbifera</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), кукурек (<i>Helleborus odorus</i>), ајдучица (<i>Mycelis muralis</i>), вилина трава (<i>Circaea lutetiana</i>), шумски чистац (<i>Stachys sylvatica</i>), шумска оштрика (<i>Carex sylvatica</i>), рогљачица (<i>Moehringia trinervia</i>), навала (<i>Dryopteris filix-mas</i>), срцолисна чешњача (<i>Alliaria officinalis</i>), бљушт (<i>Tamus communis</i>), мирисна љубичица (<i>Viola odorata</i>), црвени здравац (<i>Geranium robertianum</i>), бршљан (<i>Hedera helix</i>), шумска млечика (<i>Euphorbia amygdaloides</i>), црна зова (<i>Sambucus nigra</i>), шумска љубичица (<i>Viola sylvestris</i>), оштролисна кострика (<i>Ruscus aculeatus</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), вијушац (<i>Bilderdykia convolvulus</i>), зализ (<i>Polygonatum odoratum</i>).

Прилог 6. Флористички састав заједнице букве и китњака (према Stajić, 2016)

Мешовита заједница букве и китњака (<i>Quercus petraeae-Fagetum moesiacaе</i> Glišić 1971.)	
Спрат дрвећа	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="background-color: #4CAF50; color: white; padding: 2px 5px; font-weight: bold;">едификатори</div> <div> <p>буква (<i>Fagus moesiaca</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), сребрна липа (<i>Tilia tomentosa</i>), сладун (<i>Quercus frainetto</i>), јасика (<i>Populus tremula</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), крупнолисна липа (<i>Tilia platyphyllos</i>), млеч (<i>Acer platanoides</i>), горски јавор (<i>Acer pseudoplatanus</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>).</p> </div> </div>
Спрат жбуња	<p>једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), буква (<i>Fagus moesiaca</i>), црна зова (<i>Sambucus nigra</i>), дрен (<i>Cornus mas</i>), горски јавор (<i>Acer pseudoplatanus</i>), бели јасен (<i>Fraxinus excelsior</i>), леска (<i>Corylus avellana</i>), црни глог (<i>Crataegus nigra</i>), дивља јабука (<i>Malus silvestris</i>).</p>
Спрат приземне флоре	<p>жута мртва коприва (<i>Lamium galeobdolon</i>), шумска оштрика (<i>Carex sylvatica</i>), навала (<i>Dryopteris filix-mas</i>), купина (<i>Rubus hirtus</i>), кукурек (<i>Helleborus odorus</i>), брадавичак (<i>Cardamine bulbifera</i>), срцолисна чешњача (<i>Alliaria officinalis</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), вилина трава (<i>Circaea lutetiana</i>), лазаркиња (<i>Asperula odorata</i>), бршљан (<i>Hedera helix</i>), шумски чистац (<i>Stachys sylvatica</i>), длакава љубичица (<i>Viola hirta</i>), рогљачица (<i>Moehringia trinervia</i>), црвени здравац (<i>Geranium robertianum</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), трепљаста оштрика (<i>Carex pilosa</i>), буква (<i>Fagus moesiaca</i>), шумска љубичица (<i>Viola silvestris</i>), горски јавор (<i>Acer pseudoplatanus</i>), шумска млечика (<i>Euphorbia amygdaloides</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), језичаста кострика (<i>Ruscus hypoglossum</i>), мирисна љубичица (<i>Viola odorata</i>), шумска јагода (<i>Fragaria vesca</i>), црна зова (<i>Sambucus nigra</i>).</p>

Прилог 7. Флористички састав вештачки подигнутих састојина на станишту сладуна и цера (према Stajić, 2016)

Вештачки подигнуте састојине на станишту сладуна и цера (<i>Quercetum frainetto-cerridis</i> Rudski 1949.)	
Састојине	<ul style="list-style-type: none"> • вештачки подигнута састојина смрче (<i>Picea abies</i> (L.) Karst), атласкогкедра (<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carrière) и дуглазије (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco), • вештачки подигнута састојина дуглазије (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco), • вештачки подигнута састојина црног бора (<i>Pinus nigra</i> Arnold), • вештачки подигнута састојина црног бора (<i>Pinus nigra</i> Arnold) и белогбора (<i>Pinus sylvestris</i> L.) са лужњаком (<i>Quercus robur</i> L.).
Спрат дрвећа	<p>највише присутни: вештачки унешене врсте четинара (<i>Picea abies</i>, <i>Cedrus atlantica</i>, <i>Pseudotsuga menziesii</i>, <i>Pinus nigra</i>, <i>Pinus sylvestris</i>), лужњак (<i>Quercus robur</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>).</p> <p>мање присутни: црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), сладун (<i>Quercus frainetto</i>), клен (<i>Acer campestre</i>).</p> <p>ретко присутни: пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), бреза (<i>Betula pendula</i>), сребрна липа (<i>Tilia tomentosa</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>) буква (<i>Fagus moesiaca</i>), орах (<i>Juglans regia</i>).</p>
Спрат жбуња	<p>највише присутни: дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>).</p> <p>мање присутни: пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), свиб (<i>Cornus sanguinea</i>), горски јавор (<i>Acer pseudoplatanus</i>), црна зова (<i>Sambucus nigra</i>).</p> <p>ретко присутни: купина (<i>Rubus hirtus</i>), калина (<i>Ligustrum vulgare</i>), дрен (<i>Cornus mas</i>), трњина (<i>Prunus spinosa</i>), бреза (<i>Betula pendula</i>), буква (<i>Fagus moesiaca</i>), орах (<i>Juglans regia</i>), клен (<i>Acer campestre</i>).</p>
Спрат приземне флоре	<p>бљушт (<i>Tamus communis</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), црвени здравац (<i>Geranium robertianum</i>), кукурек (<i>Helleborus odorus</i>), ајдучица (<i>Mycelis muralis</i>), шумска пасјача (<i>Brachypodium sylvaticum</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), купина (<i>Rubus hirtus</i>), рогљачица (<i>Moehringia trinervia</i>), сузица (<i>Melica uniflora</i>), орлови нокти (<i>Lonicera caprifolium</i>), шумска оштрика (<i>Carex sylvatica</i>), длакава добричица (<i>Glechoma hirsuta</i>), павит (<i>Clematis vitalba</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>).</p>

Прилог 8. Флористички састав вештачки подигнутих састојина на станишту китњака и цера (према Stajić, 2016)

Вештачки подигнуте састојине на станишту китњака и цера (<i>Quercetum petraeae-cerridis</i> В. Јовановић 1979. s.l.)	
Састојине	<ul style="list-style-type: none"> • вештачки подигнута састојина пенсилванијског јасена (<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsch.), • вештачки подигнута састојина багрема (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.), • вештачки подигнута састојина лужњака (<i>Quercus robur</i> L.), цера (<i>Quercus cerris</i> L.) и црног бора (<i>Pinus nigra</i> Arnold), • вештачки подигнута састојина црног бора (<i>Pinus nigra</i> Arnold), • вештачки подигнута састојина дуглазије (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco), • вештачки подигнута састојина кедра (<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carrière), • вештачки подигнута састојина кедра (<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carrière) и кавкаске јеле (<i>Abies nordmanniana</i> (Steven) Spach)
Спрат дрвећа	<p>највише присутни: цер (<i>Quercus cerris</i>), дивљатрешња (<i>Prunus avium</i>), клен (<i>Acer campestre</i>).</p> <p>мање присутни: атласки кедр (<i>Cedrus atlantica</i>), багрем (<i>Robinia pseudoacacia</i>), црни бор (<i>Pinus nigra</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), орах (<i>Juglans regia</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>).</p> <p>ретко присутни: дуглазија (<i>Pseudotsuga menziesii</i>), пенсилванијски јасен (<i>Fraxinus pennsylvanica</i>), лужњак (<i>Quercus robur</i>), буква (<i>Fagus toesiaca</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), кавкаска јела (<i>Abies nordmanniana</i>).</p>
Спрат жбуња	<p>највише присутни: свиб (<i>Cornus sanguinea</i>), црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), орах (<i>Juglans regia</i>).</p> <p>мање присутни: црна зова (<i>Sambucus nigra</i>), калина (<i>Ligustrum vulgare</i>), трњина (<i>Prunus spinosa</i>), дрен (<i>Cornus mas</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>).</p> <p>ретко присутни: купина (<i>Rubus hirtus</i>), полегла ружа (<i>Rosa arvensis</i>), багрем (<i>Robinia pseudoacacia</i>), дивља ружа (<i>Rosa canina</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), дивља крушка (<i>Pyrus pyraeaster</i>), горски јавор (<i>Acer pseudoplatanus</i>), сребрна липа (<i>Tilia tomentosa</i>).</p>
Спрат приземне флоре	<p>шумска пасјача (<i>Brachypodium sylvaticum</i>), бљушт (<i>Tamus communis</i>), бршљан (<i>Hedera helix</i>), павит (<i>Clematis vitalba</i>), шарени смрдељ (<i>Galeopsis speciosa</i>), купина (<i>Rubus hirtus</i>), црвени здравац (<i>Geranium robertianum</i>), броћика (<i>Galium aparine</i>), бела љубичица (<i>Viola alba</i>), павловац (<i>Aremonia agrimonoides</i>), шумска јагода (<i>Fragaria vesca</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), ајдучица (<i>Mycelis muralis</i>), јежевица (<i>Dactylis glomerata</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), зечја стопа (<i>Geum urbanum</i>).</p>

Прилог 9. Флористички састав вештачки подигнутих састојина на станишту брдске букве (према Stajić, 2016)

Вештачки подигнуте састојине на станишту брдске букве (<i>Helleboro odori-Fagetum moesiacaе</i> Soo & Borhidi 1960.)	
Састојине	<ul style="list-style-type: none"> • вештачки подигнута састојина смрче (<i>Picea abies</i> (L.) Karst), • вештачки подигнута састојина ораха (<i>Juglans regia</i> L.).
Спрат дрвећа	<p>највише присутни: буква (<i>Fagus moesiaca</i>), клен (<i>Acer campestre</i>).</p> <p>ретко присутни: орах (<i>Juglans regia</i>), смрча (<i>Picea abies</i>), црни бор (<i>Pinus nigra</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), млеч (<i>Acer platanoides</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>).</p>
Спрат жбуња	<p>црна зова (<i>Sambucus nigra</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), апдовина (<i>Sambucus ebulus</i>), купина (<i>Rubus hirtus</i>), свиб (<i>Cornus sanguinea</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>).</p>
Спрат приземне флоре	<p>најчешће присутни: вилина трава (<i>Circaea lutetiana</i>), брадавичак (<i>Cardamine bulbifera</i>), навала (<i>Dryopteris filix-mas</i>), црвени здравац (<i>Geranium robertianum</i>), женска папрат (<i>Athyrium filix femina</i>), бљушт (<i>Tamus communis</i>).</p> <p>ретко присутни: длакава купина (<i>Rubus canescens</i>), шумска пасјача (<i>Brachypodium sylvaticum</i>), шумска оштрика (<i>Carex sylvatica</i>), кукурек (<i>Helleborus odoratus</i>), жута мртва коприва (<i>Lamium galeobdolon</i>), броћика (<i>Galium aparine</i>), мишјакиња (<i>Stellaria media</i>), милоглед (<i>Sanicula europaea</i>), трепљаста оштрика (<i>Carex pilosa</i>), црвени штаваљ (<i>Rumex sanguineus</i>), срцелисна чешњача (<i>Alliaria officinalis</i>), шумски чистац (<i>Stachys sylvatica</i>), купина (<i>Rubus hirtus</i>), уступник (<i>Scrophularia nodosa</i>), шарени смрдељ (<i>Galeopsis speciosa</i>), орах (<i>Juglans regia</i>), козлац (<i>Arum maculatum</i>), павит (<i>Clematis vitalba</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), свиб (<i>Cornus sanguinea</i>), медвеђа шапа (<i>Heracleum sphondylium</i>), шумска љубичица (<i>Viola sylvestris</i>), рогљачица (<i>Moehringia trinervia</i>), бршљан (<i>Hedera helix</i>), буква (<i>Fagus moesiaca</i>), ајдучица (<i>Mycelis muralis</i>), птичје млеко (<i>Ornithogalum pyramidale</i>).</p>

Прилог 10. Флористички састав вештачки подигнутих састојина на станишту букве и китњака (према Stajić, 2016)

Вештачки подигнуте састојине на станишту букве и китњака (<i>Quercus petraeae-Fagetum moesiacaе</i> Glišić 1971.)	
Састојине	<ul style="list-style-type: none"> • вештачки подигнута састојина лужњака (<i>Quercus robur</i> L.), • вештачки подигнута састојина дуглазије (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco).
Спрат дрвећа	вештачки унешени лужњак (<i>Quercus robur</i>) и дуглазија (<i>Pseudotsuga menziesii</i>), китњак (<i>Quercus petraea</i>), буква (<i>Fagus moesiaca</i>), цер (<i>Quercus cerris</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), горски јавор (<i>Acer pseudoplatanus</i>), ситнолисна липа (<i>Tilia cordata</i>), пајавац (<i>Acer negundo</i>).
Спрат жбуња	црни јасен (<i>Fraxinus ornus</i>), дрен (<i>Cornus mas</i>), једносемени глог (<i>Crataegus monogyna</i>), дивља трешња (<i>Prunus avium</i> L.), буква (<i>Fagus moesiaca</i>), горски јавор (<i>Acer pseudoplatanus</i>), полегла ружа (<i>Rosa arvensis</i>), клен (<i>Acer campestre</i>), пољски брест (<i>Ulmus minor</i>), граб (<i>Carpinus betulus</i>), свиб (<i>Cornus sanguinea</i>), леска (<i>Corylus avellana</i>), бели јасен (<i>Fraxinus excelsior</i>), орах (<i>Juglans regia</i>), црна зова (<i>Sambucus nigra</i>).
Спрат приземне флоре	жута мртва коприва (<i>Lamium galeobdolon</i>), купина (<i>Rubus hirtus</i>), брадавичак (<i>Cardamine bulbifera</i>), навала (<i>Dryopteris filix-mas</i>), црвени здравац (<i>Geranium robertianum</i>), вилина трава (<i>Circaea lutetiana</i>), буква (<i>Fagus moesiaca</i>), шумски чистац (<i>Stachys sylvatica</i>), бршљан (<i>Hedera helix</i>), сузица (<i>Melica uniflora</i>).

Прилог 11. Приказ ознаке селекционисаних индивидуа, одељења у коме су индивидуе узорковане, координата (СГШ – северна географска ширина, ИГД – источна географска дужина), надморске висине (НВ), нагиба терена (НТ) и категорије експозиције (Експ., скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток) за цер

Ознака	Врста	Одељење	СГШ	ИГД	НВ (m)	НТ (%)	Експ.
C 1	цер	4 (13)	44.47231	20.56615	405	15.8844	N
C 2	цер	3 (f)	44.47234	20.56329	415	29.87954	N
C 3	цер	3 (f)	44.47262	20.56283	414	29.65154	NE
C 4	цер	3 (d)	44.47309	20.56293	399	15.82908	NE
C 5	цер	2 (a)	44.47068	20.55701	407	39.19231	W
C 6	цер	2 (a)	44.47156	20.55712	416	34.61503	W
C 7	цер	2 (a)	44.47327	20.5577	416	32.88485	NW
C 8	цер	2 (a)	44.4741	20.55773	403	25.97242	NW
C 9	цер	1 (a)	44.46763	20.55518	407	34.08229	NW
C 10	цер	13 (2)	44.46595	20.59358	374	17.6472	W
C 11	цер	13 (b)	44.46527	20.5938	378	21.23827	W
C 12	цер	13 (a)	44.46483	20.59469	394	5.825595	SW
C 13	цер	13 (a)	44.46443	20.59474	394	28.68878	W
C 14	цер	13 (a)	44.46428	20.59491	397	27.174	SW
C 15	цер	13 (a)	44.4638	20.59593	407	29.39917	SW
C 16	цер	13 (a)	44.46294	20.59727	393	23.14514	S
C 17	цер	13 (a)	44.46377	20.59882	415	19.46767	S
C 18	цер	13 (a)	44.46398	20.59867	417	20.79528	S
C 19	цер	13 (c)	44.46656	20.59686	441	29.82615	N
C 20	цер	13 (c)	44.46666	20.59643	437	27.71031	NW
C 21	цер	13 (c)	44.46655	20.59641	437	27.71031	NW
C 22	цер	13 (a)	44.46318	20.60038	381	33.66506	SE
C 23	цер	13 (a)	44.46309	20.60014	381	33.66506	SE
C 24	цер	13 (a)	44.46318	20.59938	395	24.42881	S
C 25	цер	13 (a)	44.46339	20.59915	401	22.28014	S
C 26	цер	13 (b)	44.46356	20.5987	409	26.30947	S
C 27	цер	13 (a)	44.46385	20.60059	393	23.93989	SE
C 28	цер	13 (a)	44.46536	20.5989	433	23.1358	E
C 29	цер	13 (a)	44.46262	20.59875	372	28.89322	S
C 30	цер	13 (a)	44.4627	20.59823	382	35.34504	S
C 31	цер	14 (8)	44.46985	20.57571	518	13.91584	S
C 32	цер	14 (8)	44.47043	20.5759	520	8.962006	N
C 33	цер	14 (c)	44.47046	20.57544	519	12.52665	NW
C 34	цер	14 (c)	44.47027	20.57493	520	17.15852	NW
C 35	цер	14 (c)	44.46994	20.5747	522	20.74742	N
C 36	цер	14 (8)	44.46955	20.57465	537	23.05325	NE
C 37	цер	14 (b)	44.46737	20.57252	565	31.5935	E

Прилог 11. *наставак*

Ознака	Врста	Одељење	СГШ	ИГД	НВ (m)	НТ (%)	Експ.
С 38	цер	14 (b)	44.46714	20.57235	568	28.60958	SE
С 39	цер	14 (b)	44.46683	20.57164	567	23.37238	S
С 40	цер	14 (b)	44.46668	20.57074	564	2.086653	SE
С 41	цер	14 (a)	44.46656	20.57026	565	7.456197	NE
С 42	цер	18 (d)	44.45146	20.55898	452	13.39545	N
С 43	цер	18 (d)	44.4517	20.55826	443	19.07006	NW
С 44	цер	21 (a)	44.451	20.56134	421	19.98944	E
С 45	цер	7 (10)	44.47304	20.5781	526	13.72595	S
С 46	цер	10 (a)	44.47359	20.57833	530	8.347257	SE
С 47	цер	10 (c)	44.47645	20.57841	534	21.15722	NE
С 48	цер	9 (a)	44.47805	20.57792	511	22.93038	N
С 49	цер	8 (1)	44.47843	20.57759	504	23.08974	N
С 50	цер	8 (1)	44.47893	20.5774	492	17.15821	N
С 51	цер	10 (a)	44.47362	20.5777	529	4.638683	S
С 52	цер	11 (c)	44.47045	20.57941	495	20.40384	S
С 53	цер	11 (c)	44.47017	20.57968	488	16.61308	S
С 54	цер	12 (d)	44.46442	20.58571	450	9.278309	SE
С 55	цер	14 (c)	44.46848	20.57125	562	16.84251	N
С 56	цер	-	44.46955	20.57594	515	12.76135	SE
С 57	цер	6 (g)	44.47612	20.56595	375	32.30615	SW
С 58	цер	7 (i)	44.47563	20.57218	469	11.86655	NW
С 59	цер	7 (j)	44.47662	20.57058	451	12.99205	NW
С 60	цер	7 (b)	44.47328	20.57764	528	6.587003	SW

Прилог 12. Приказ ознаке селекционисаних индивидуа, одељења у коме су индивидуе узорковане, координата (СГШ – северна географска ширина, ИГД – источна географска дужина), надморске висине (НВ), нагиба терена (НТ) и категорије експозиције (Експ., скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток) за китњак

Ознака	Врста	Одељење	СГШ	ИГД	НВ (m)	НТ (%)	Експ.
К 1	китњак	3 (f)	44.47196	20.56387	418	24.40282	N
К 2	китњак	3 (d)	44.47323	20.56204	411	25.02433	NE
К 3	китњак	2 (a)	44.47179	20.55729	416	34.61503	W
К 4	китњак	2 (a)	44.47261	20.55742	417	31.59602	W
К 5	китњак	2 (a)	44.47356	20.55781	409	30.14228	NW
К 6	китњак	1 (a)	44.46827	20.55548	386	31.21118	NW
К 7	китњак	14 (8)	44.46963	20.57572	518	13.91584	S
К 8	китњак	14 (7)	44.46776	20.57146	571	7.208061	NW
К 9	китњак	14 (b)	44.46738	20.57243	565	31.5935	E
К 10	китњак	14 (b)	44.46706	20.57226	559	39.68288	SE
К 11	китњак	14 (b)	44.46672	20.57181	555	32.92486	SE
К 12	китњак	14 (a)	44.46652	20.57114	561	21.79595	SE
К 13	китњак	14 (a)	44.46656	20.57038	565	7.456197	NE
К 14	китњак	14 (a)	44.46605	20.57032	565	18.43782	SE
К 15	китњак	16 (c)	44.46307	20.56305	543	40.82588	SE
К 16	китњак	17 (d)	44.46296	20.55997	545	31.10787	S
К 17	китњак	17 (d)	44.46228	20.55879	530	28.5407	S
К 18	китњак	17 (d)	44.4613	20.55795	513	34.31419	S
К 19	китњак	18 (d)	44.45185	20.56035	436	31.3329	NE
К 20	китњак	18 (d)	44.4517	20.55974	445	14.91021	NE
К 21	китњак	-	44.45037	20.56311	394	15.32758	SE
К 22	китњак	21 (b)	44.44948	20.5637	374	26.5271	S
К 23	китњак	19 (a)	44.44878	20.55648	435	22.14081	W
К 24	китњак	10 (a)	44.47365	20.57835	530	8.347257	SE
К 25	китњак	10 (c)	44.47479	20.57925	529	22.1505	E
К 26	китњак	10 (c)	44.47575	20.57886	527	28.84814	E
К 27	китњак	9 (a)	44.4778	20.57773	517	15.43007	N
К 28	китњак	10 (b)	44.47506	20.57793	539	1.340088	N
К 29	китњак	10 (a)	44.47424	20.57776	535	13.00807	S
К 30	китњак	10 (a)	44.47413	20.57779	535	13.00807	S
К 31	китњак	11 (c)	44.47109	20.57984	504	15.15136	SE
К 32	китњак	11 (c)	44.47142	20.58038	501	31.20477	SE
К 33	китњак	11 (e)	44.47183	20.58052	497	24.62167	NE
К 34	китњак	11 (d)	44.47104	20.58008	500	24.3455	SE
К 35	китњак	11 (c)	44.47048	20.57953	495	20.40384	S
К 36	китњак	12 (a)	44.46499	20.58513	462	20.01887	SW
К 37	китњак	12 (d)	44.46461	20.58616	452	16.56258	SE

Прилог 12. *наставак*

Ознака	Врста	Одељење	СГШ	ИГД	НВ (m)	НТ (%)	Експ.
К 38	китњак	12 (a)	44.46582	20.5843	463	10.29434	S
К 39	китњак	12 (a)	44.46649	20.58371	468	7.314045	S
К 40	китњак	12 (a)	44.46647	20.58345	466	15.14802	SW
К 41	китњак	12 (a)	44.46679	20.58306	468	12.79935	S
К 42	китњак	12 (a)	44.46728	20.58242	472	3.303627	SW
К 43	китњак	14 (c)	44.46828	20.57106	565	15.78768	NW
К 44	китњак	14 (7)	44.46708	20.57088	565	7.250449	SW
К 45	китњак	11 (a)	44.47184	20.57833	511	6.90755	S
К 46	китњак	14 (e)	44.47113	20.57855	505	11.82495	SE
К 47	китњак	14 (e)	44.47086	20.57913	502	8.962009	S
К 48	китњак	14 (d)	44.47061	20.5776	504	17.59988	S
К 49	китњак	14 (a)	44.46733	20.57459	515	33.61709	SE
К 50	китњак	14 (a)	44.46661	20.57356	521	32.95123	SE
К 51	китњак	14 (a)	44.46595	20.57306	503	38.64899	SE
К 52	китњак	15 (a)	44.46404	20.56874	535	40.35892	SE
К 53	китњак	15 (a)	44.46237	20.56828	494	36.51455	E
К 54	китњак	15 (a)	44.4616	20.56709	506	13.00807	S
К 55	китњак	6 (g)	44.47602	20.56588	375	32.30615	SW
К 56	китњак	6 (g)	44.47628	20.5658	378	28.11031	W
К 57	китњак	6 (g)	44.47699	20.566	384	26.61116	W
К 58	китњак	7 (j)	44.47612	20.57077	459	16.78839	NW
К 59	китњак	7 (j)	44.47689	20.57107	454	12.46963	W
К 60	китњак	7 (m)	44.47735	20.57085	452	9.826202	W

Прилог 13. Приказ ознаке селекционисаних индивидуа, одељења у коме су индивидуе узорковане, координата (СГШ – северна географска ширина, ИГД – источна географска дужина), надморске висине (НВ), нагиба терена (НТ) и категорије експозиције (Експ., скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток) за медунац

Ознака	Врста	Одељење	СГШ	ИГД	НВ (m)	НТ (%)	Експ.
M 1	медунац	13 (2)	44.46643	20.59348	376	16.5241	W
M 2	медунац	13 (2)	44.46619	20.59349	376	18.08761	W
M 3	медунац	13 (b)	44.46518	20.59426	382	20.56214	NW
M 4	медунац	13 (b)	44.46542	20.59372	373	23.18871	W
M 5	медунац	13 (b)	44.46522	20.59408	382	20.56214	NW
M 6	медунац	13 (b)	44.46508	20.59441	389	24.99989	W
M 7	медунац	13 (a)	44.46489	20.59476	396	32.80839	W
M 8	медунац	13 (a)	44.46421	20.59512	397	27.174	SW
M 9	медунац	13 (a)	44.4638	20.59588	407	29.39917	SW
M 10	медунац	13 (b)	44.46317	20.59728	393	23.14514	S
M 11	медунац	13 (a)	44.46292	20.59728	393	23.14514	S
M 12	медунац	13 (b)	44.46313	20.5975	393	24.70921	S
M 13	медунац	13 (b)	44.46359	20.59826	410	27.1855	S
M 14	медунац	13 (a)	44.46396	20.59863	417	20.79528	S
M 15	медунац	13 (b)	44.46395	20.59844	418	21.825	S
M 16	медунац	13 (1)	44.46467	20.59804	441	20.58864	S
M 17	медунац	13 (1)	44.46534	20.59761	449	9.278366	SW
M 18	медунац	13 (1)	44.46605	20.59736	454	4.490343	N
M 19	медунац	13 (c)	44.46651	20.59689	451	19.06684	N
M 20	медунац	13 (c)	44.46662	20.59645	437	27.71031	NW
M 21	медунац	13 (c)	44.46727	20.59693	424	31.58707	N
M 22	медунац	-	44.46816	20.5951	384	38.31684	N
M 23	медунац	13 (b)	44.4635	20.59888	408	24.05952	S
M 24	медунац	13 (b)	44.46541	20.59824	445	26.03899	SE
M 25	медунац	13 (a)	44.46553	20.59842	447	23.18882	E
M 26	медунац	21 (j)	44.4424	20.562	364	23.51513	S
M 27	медунац	21 (j)	44.44287	20.56269	370	21.57894	S
M 28	медунац	21 (j)	44.44317	20.56271	374	15.14591	SE
M 29	медунац	21 (j)	44.44356	20.56276	382	16.98801	SE
M 30	медунац	21 (c)	44.44232	20.56163	356	24.68874	S
M 31	медунац	7 (10)	44.47285	20.57824	520	13.96198	SE
M 32	медунац	10 (a)	44.4738	20.5784	531	8.561788	SE
M 33	медунац	10 (a)	44.47411	20.5788	529	18.86186	SE
M 34	медунац	10 (e)	44.47402	20.57918	523	24.62196	E
M 35	медунац	8 (1)	44.47873	20.5774	497	19.0416	N
M 36	медунац	8 (a)	44.47878	20.57705	491	17.73091	N
M 37	медунац	8 (a)	44.47877	20.57671	489	21.94309	N

Прилог 13. *наставак*

Ознака	Врста	Одељење	СГШ	ИГД	НВ (m)	НТ (%)	Експ.
М 38	медунац	8 (a)	44.47875	20.57654	495	20.58911	N
М 39	медунац	8 (a)	44.479	20.57688	491	17.73091	N
М 40	медунац	9 (c)	44.47958	20.57702	463	37.37307	N
М 41	медунац	8 (a)	44.47923	20.57699	485	25.35444	N
М 42	медунац	10 (b)	44.47498	20.57774	538	0	W
М 43	медунац	10 (b)	44.47452	20.57811	538	8.197501	S
М 44	медунац	10 (a)	44.47403	20.57769	535	13.00807	S
М 45	медунац	10 (a)	44.4736	20.57775	529	4.638683	S
М 46	медунац	11 (c)	44.47032	20.57943	489	19.49824	S
М 47	медунац	11 (c)	44.47012	20.57973	484	16.23793	S
М 48	медунац	11 (c)	44.46992	20.58013	484	17.81834	S
М 49	медунац	11 (j)	44.46975	20.57971	479	15.8844	S
М 50	медунац	14 (16)	44.4702	20.57881	496	24.12125	S
М 51	медунац	12 (d)	44.46438	20.58558	452	11.45212	SE
М 52	медунац	12 (a)	44.46486	20.58522	464	16.04465	S
М 53	медунац	12 (d)	44.46431	20.58598	450	9.580824	SE
М 54	медунац	12 (a)	44.46528	20.58478	461	13.00796	SW
М 55	медунац	12 (a)	44.46564	20.58443	462	6.607212	SW
М 56	медунац	12 (a)	44.46598	20.58403	467	5.926864	SE
М 57	медунац	12 (a)	44.46634	20.58379	468	5.232513	E
М 58	медунац	12 (a)	44.46715	20.58262	472	3.303627	SW
М 59	медунац	7 (a)	44.47587	20.57722	539	4.049622	S
М 60	медунац	11 (a)	44.47162	20.57896	513	11.29373	S
М 61	медунац	11 (a)	44.4714	20.57862	508	10.72059	S
М 62	медунац	14 (a)	44.46737	20.57462	522	39.88996	SE
М 63	медунац	7 (j)	44.47655	20.57043	451	12.99205	NW
М 64	медунац	7 (a)	44.47652	20.57648	538	14.76419	NW
М 65	медунац	7 (b)	44.47339	20.57764	527	6.104163	S

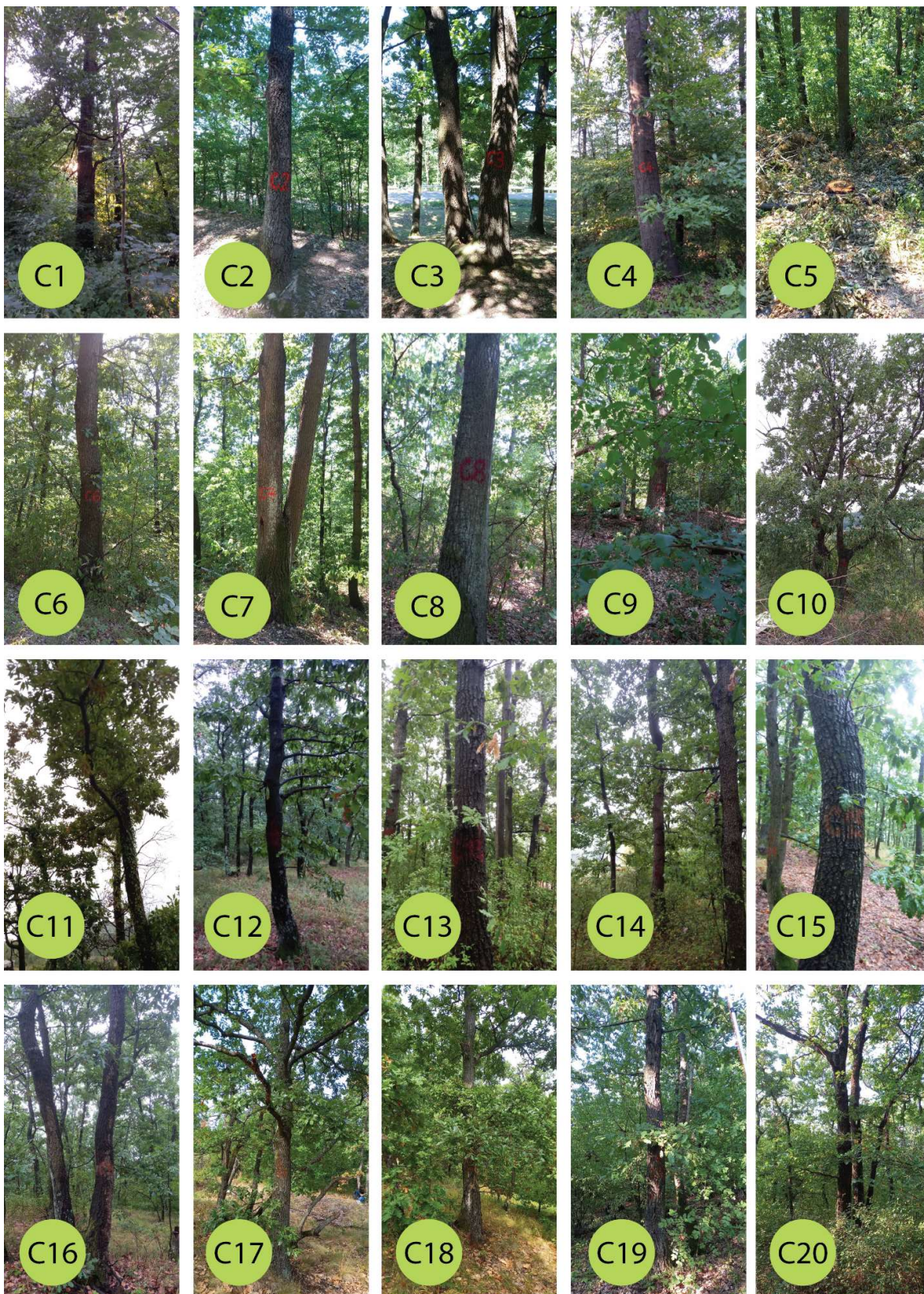
Прилог 14. Приказ ознаке селекционисаних индивидуа, одељења у коме су индивидуе узорковане, координата (СГШ – северна географска ширина, ИГД – источна географска дужина), надморске висине (НВ), нагиба терена (НТ) и категорије експозиције (Експ., скраћенице: N – север, NE – североисток, W – запад, NW – северозапад, SW – југозапад, S – југ, SE – југоисток, E – исток) за сладун

Ознака	Врста	Одељење	СГШ	ИГД	НВ (m)	НТ (%)	Експ.
S 1	сладун	4 (a)	44.47116	20.56602	432	26.30953	N
S 2	сладун	3 (f)	44.47261	20.56291	414	29.65154	NE
S 3	сладун	3 (d)	44.47407	20.5616	388	28.63754	N
S 4	сладун	2 (a)	44.47045	20.55706	407	39.19231	W
S 5	сладун	2 (a)	44.47109	20.55699	406	36.94087	W
S 6	сладун	2 (a)	44.47194	20.55731	412	34.40372	W
S 7	сладун	13 (a)	44.46465	20.59488	402	33.77652	W
S 8	сладун	13 (a)	44.46444	20.59466	394	28.68878	W
S 9	сладун	13 (a)	44.46428	20.59481	392	27.69631	SW
S 10	сладун	13 (a)	44.4641	20.59563	408	29.48936	SW
S 11	сладун	13 (a)	44.46384	20.59591	407	29.39917	SW
S 12	сладун	13 (a)	44.46341	20.5966	399	24.76092	S
S 13	сладун	13 (a)	44.46387	20.59884	415	19.46767	S
S 14	сладун	13 (b)	44.46406	20.59864	421	22.32709	S
S 15	сладун	13 (a)	44.46133	20.60065	350	11.37116	SE
S 16	сладун	13 (a)	44.46318	20.60027	381	33.66506	SE
S 17	сладун	13 (a)	44.46325	20.59968	398	24.70861	SE
S 18	сладун	13 (a)	44.4633	20.59951	400	21.16108	S
S 19	сладун	13 (a)	44.46317	20.59929	394	24.86402	S
S 20	сладун	13 (b)	44.46361	20.59873	409	26.30947	S
S 21	сладун	13 (a)	44.46372	20.59916	408	21.98467	S
S 22	сладун	13 (a)	44.46383	20.59963	409	26.66222	SE
S 23	сладун	13 (a)	44.46383	20.60035	398	26.67702	SE
S 24	сладун	13 (a)	44.46293	20.59895	393	26.94204	S
S 25	сладун	13 (a)	44.46268	20.59859	382	33.8442	S
S 26	сладун	14 (c)	44.4703	20.57502	520	17.15852	NW
S 27	сладун	14 (7)	44.46917	20.57737	478	27.22251	SE
S 28	сладун	14 (8)	44.46776	20.57194	572	4.446397	NE
S 29	сладун	14 (a)	44.46614	20.57007	567	15.14799	SE
S 30	сладун	14 (a)	44.46562	20.56961	558	25.03746	SE
S 31	сладун	16 (c)	44.46352	20.56625	550	25.51893	S
S 32	сладун	16 (b)	44.46385	20.56585	556	34.2417	SW
S 33	сладун	16 (c)	44.46338	20.56308	553	45.64063	SE
S 34	сладун	18 (d)	44.45162	20.56004	441	16.40749	NE
S 35	сладун	18 (d)	44.45143	20.55889	452	13.39545	N
S 36	сладун	18 (d)	44.45138	20.55974	447	15.80204	NE
S 37	сладун	21 (a)	44.4513	20.56061	434	27.0087	E

Прилог 14. *наставак*

Ознака	Врста	Одељење	СГШ	ИГД	НВ (m)	НТ (%)	Експ.
S 38	сладун	21 (a)	44.45113	20.56121	425	23.26782	E
S 39	сладун	21 (a)	44.45074	20.56179	412	15.31278	W
S 40	сладун	21 (a)	44.44892	20.55909	446	8.566594	E
S 41	сладун	19 (a)	44.44929	20.55848	453	5.379992	SE
S 42	сладун	21 (j)	44.44273	20.56249	372	20.48505	S
S 43	сладун	21 (j)	44.44311	20.56292	373	15.23495	SE
S 44	сладун	10 (c)	44.47651	20.57836	534	21.15722	NE
S 45	сладун	8 (l)	44.47889	20.57754	492	17.15821	N
S 46	сладун	9 (a)	44.47673	20.57755	539	10.43444	NE
S 47	сладун	11 (c)	44.47025	20.57968	488	16.61308	S
S 48	сладун	12 (a)	44.46558	20.5845	462	6.607212	SW
S 49	сладун	12 (a)	44.46591	20.58415	463	10.29434	S
S 50	сладун	12 (a)	44.46643	20.58365	468	7.314045	S
S 51	сладун	12 (a)	44.46661	20.5835	468	6.338082	E
S 52	сладун	12 (a)	44.46684	20.58295	471	5.66948	S
S 53	сладун	4 (a)	44.46788	20.56876	548	19.2629	NW
S 54	сладун	14 (c)	44.46864	20.57159	562	18.66257	N
S 55	сладун	14 (a)	44.46688	20.57394	523	30.51777	SE
S 56	сладун	14 (a)	44.46487	20.57157	515	33.37973	S
S 57	сладун	14 (a)	44.4643	20.5704	500	45.37413	S
S 58	сладун	15 (a)	44.4611	20.56684	498	18.55382	S
S 59	сладун	15 (a)	44.46011	20.56624	467	17.49584	S
S 60	сладун	6 (g)	44.47612	20.56579	375	32.30615	SW
S 61	сладун	6 (g)	44.47685	20.56599	384	26.61116	W
S 62	сладун	6 (h)	44.4751	20.56661	377	26.62753	W

Прилог 15. Фото-таблица селекционисаних индивидуа цера



Прилог 15. наставак



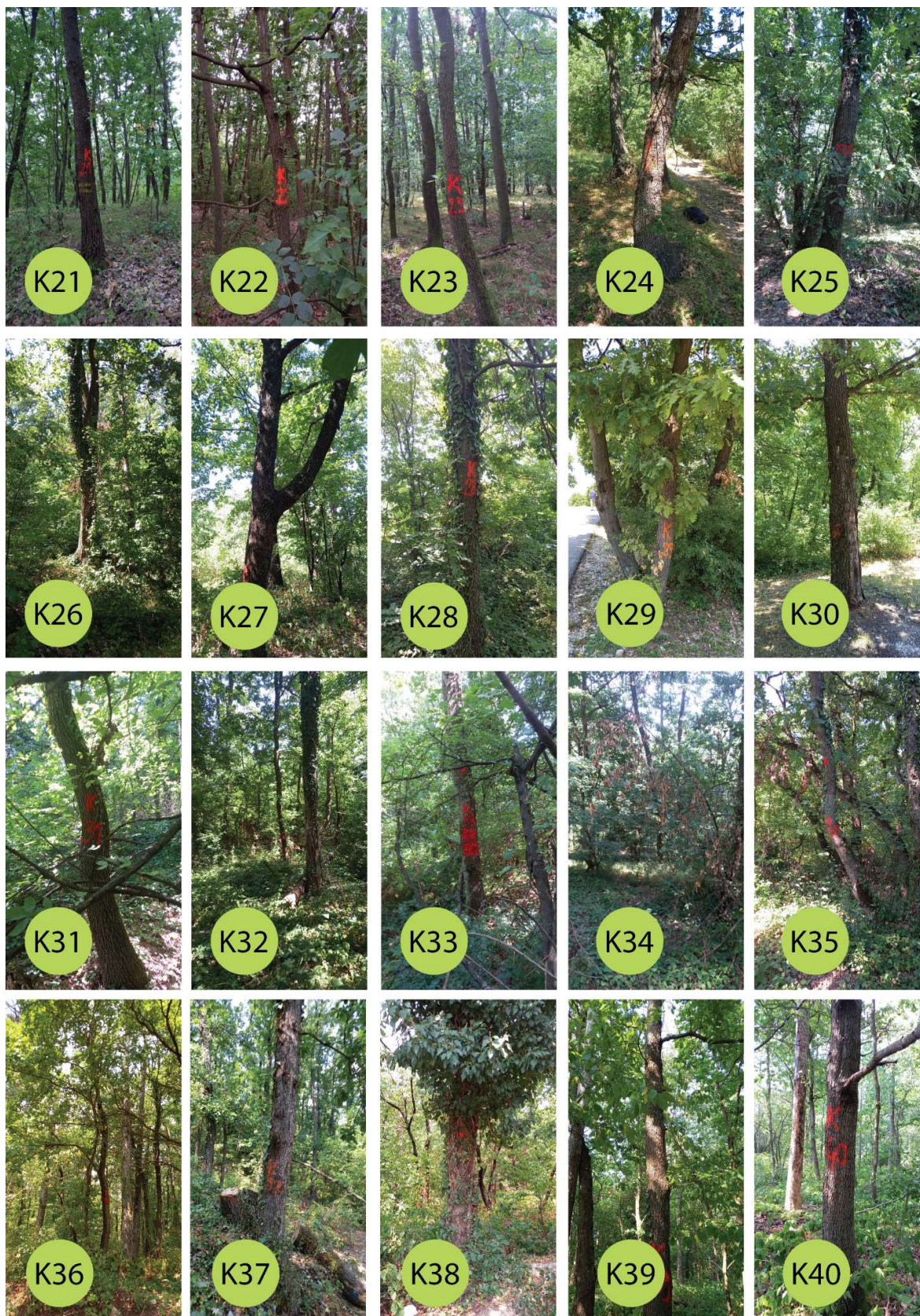
Прилог 15. наставак



Прилог 16. Фото-таблица селекционисаних индивидуа китњака



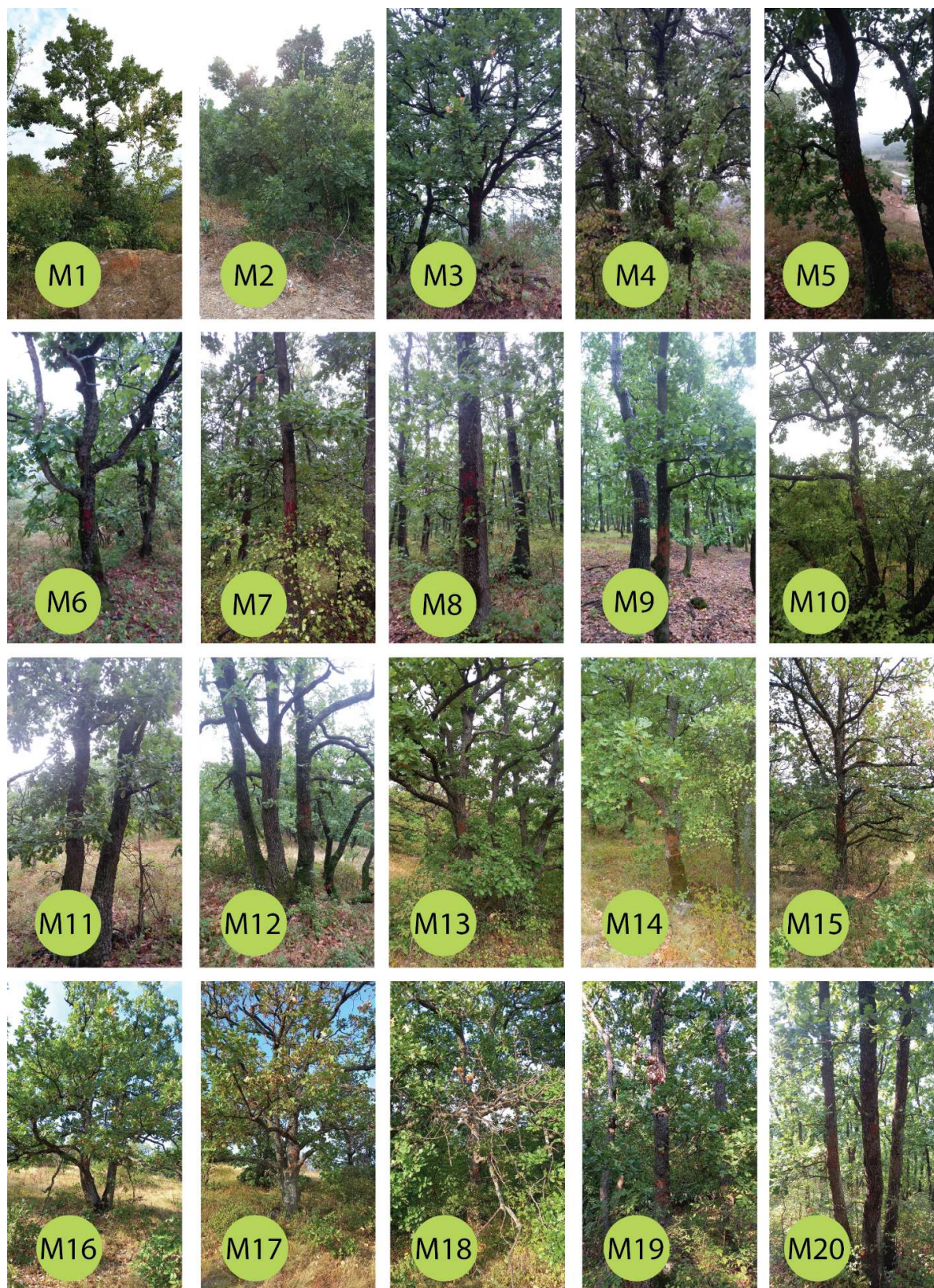
Прилог 16. наставак



Прилог 16. наставак



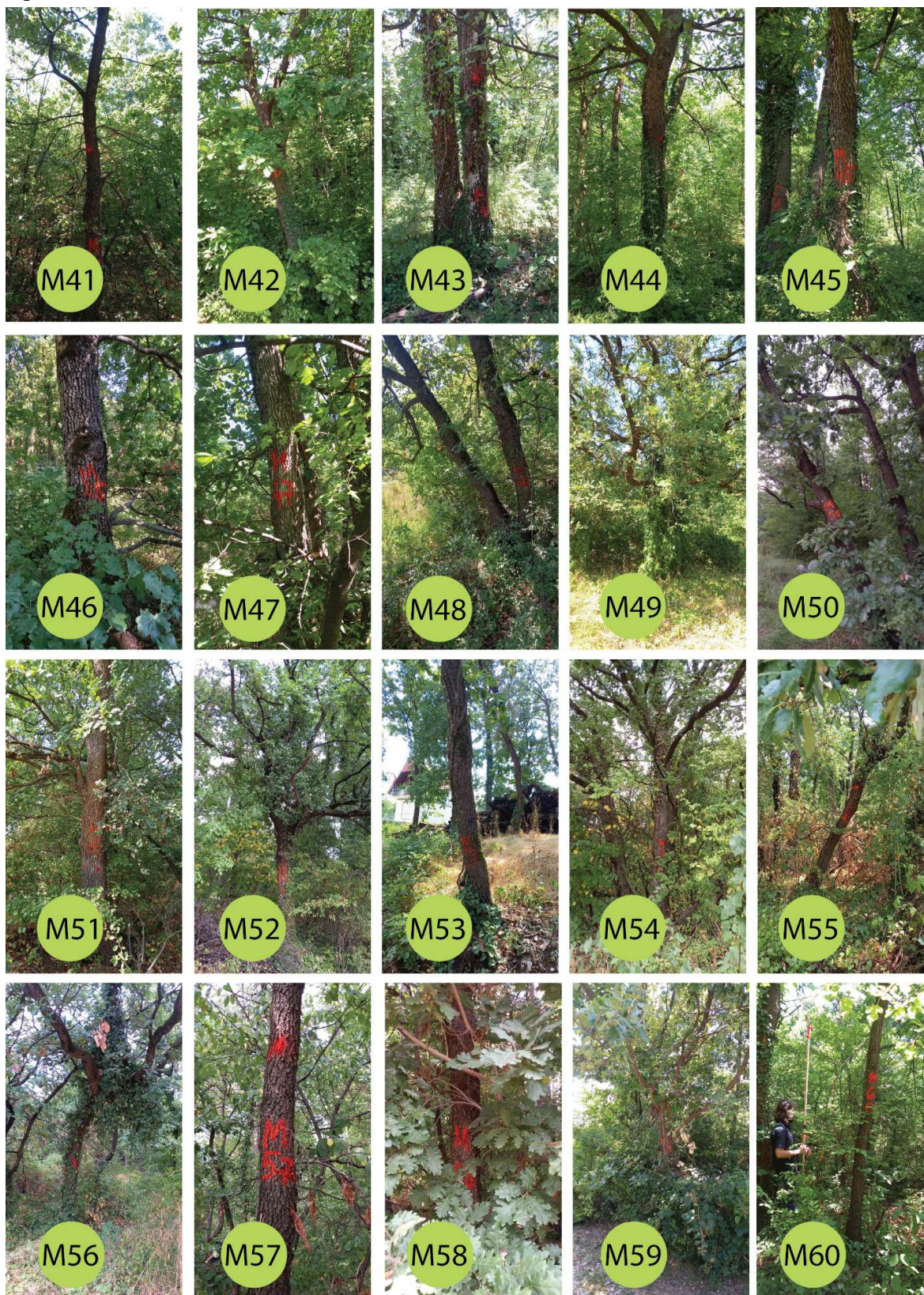
Прилог 17. Фото-таблица селекционисаних индивидуа медунца



Прилог 17. наставак



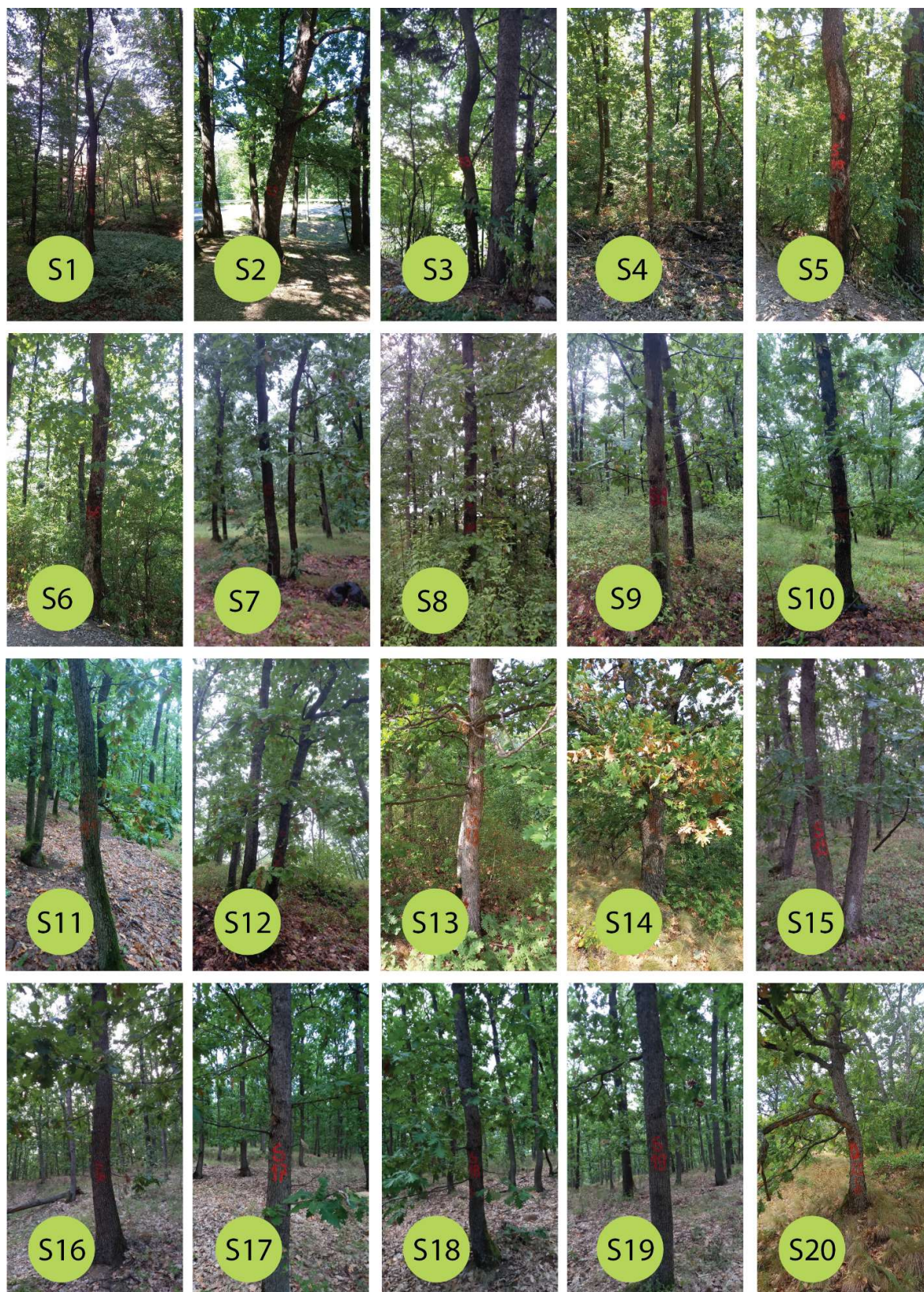
Прилог 17. наставак



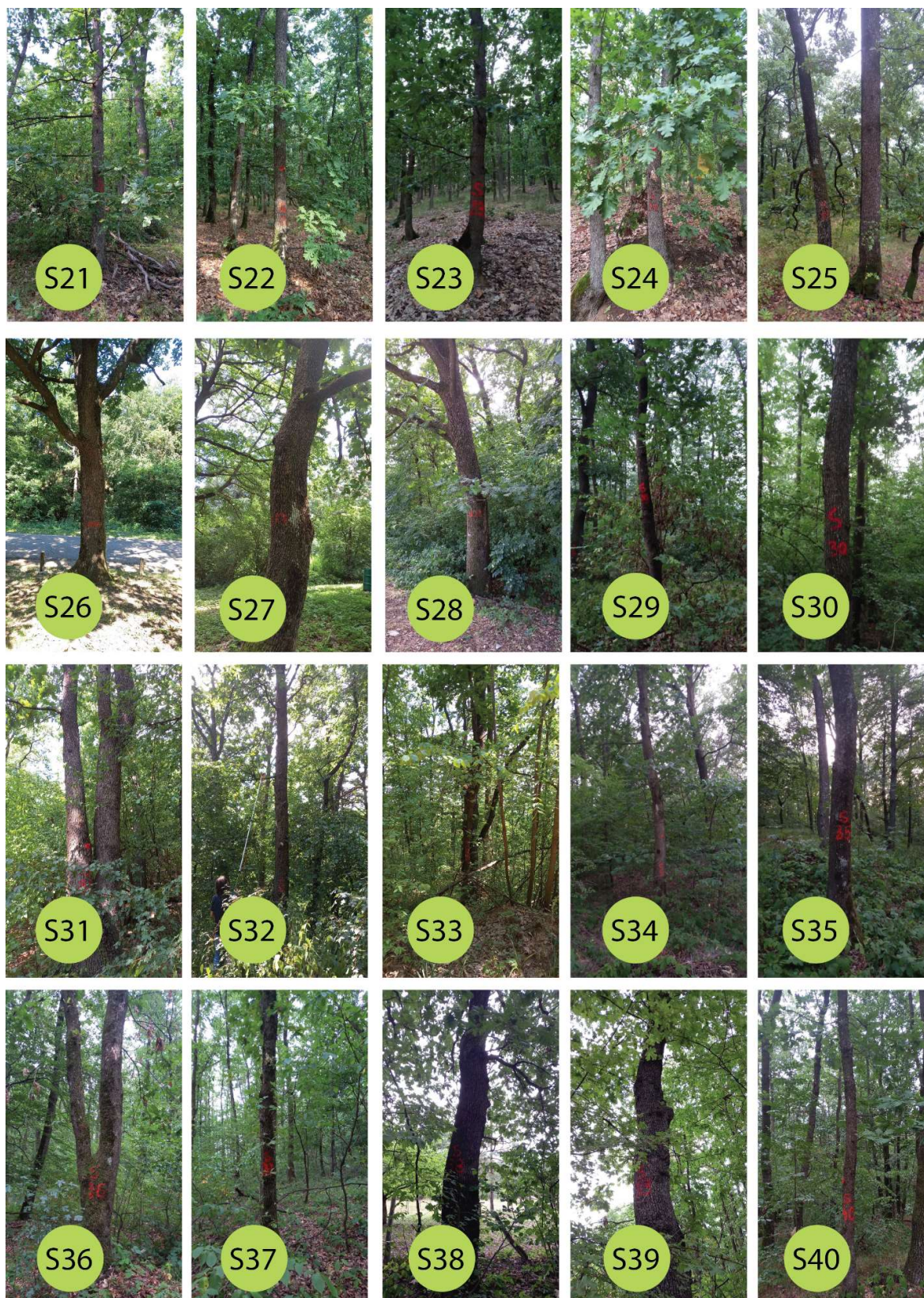
Прилог 17. наставак



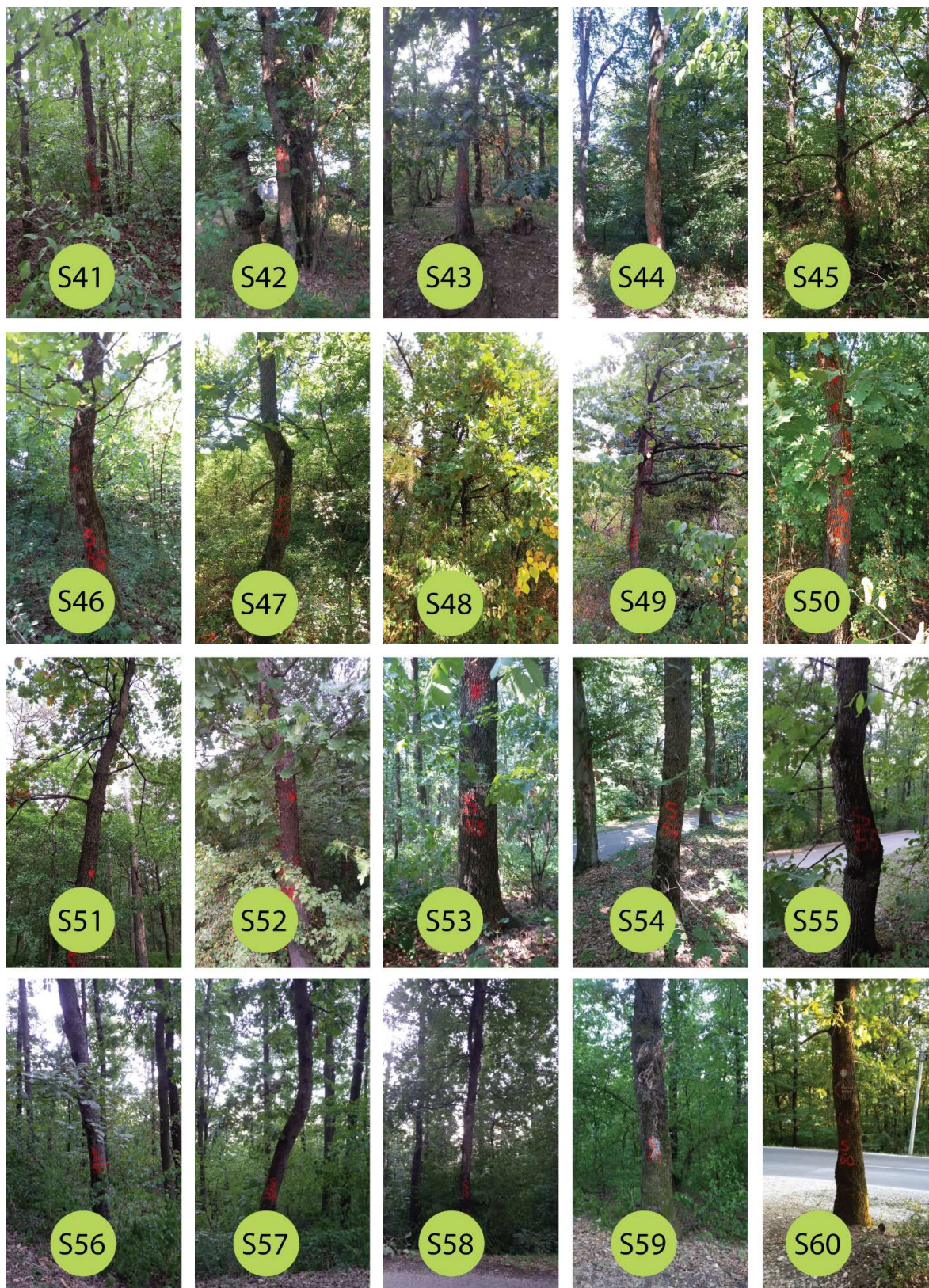
Прилог 18. Фото-таблица селекционисаних индивидуа сладуна



Прилог 18. наставак



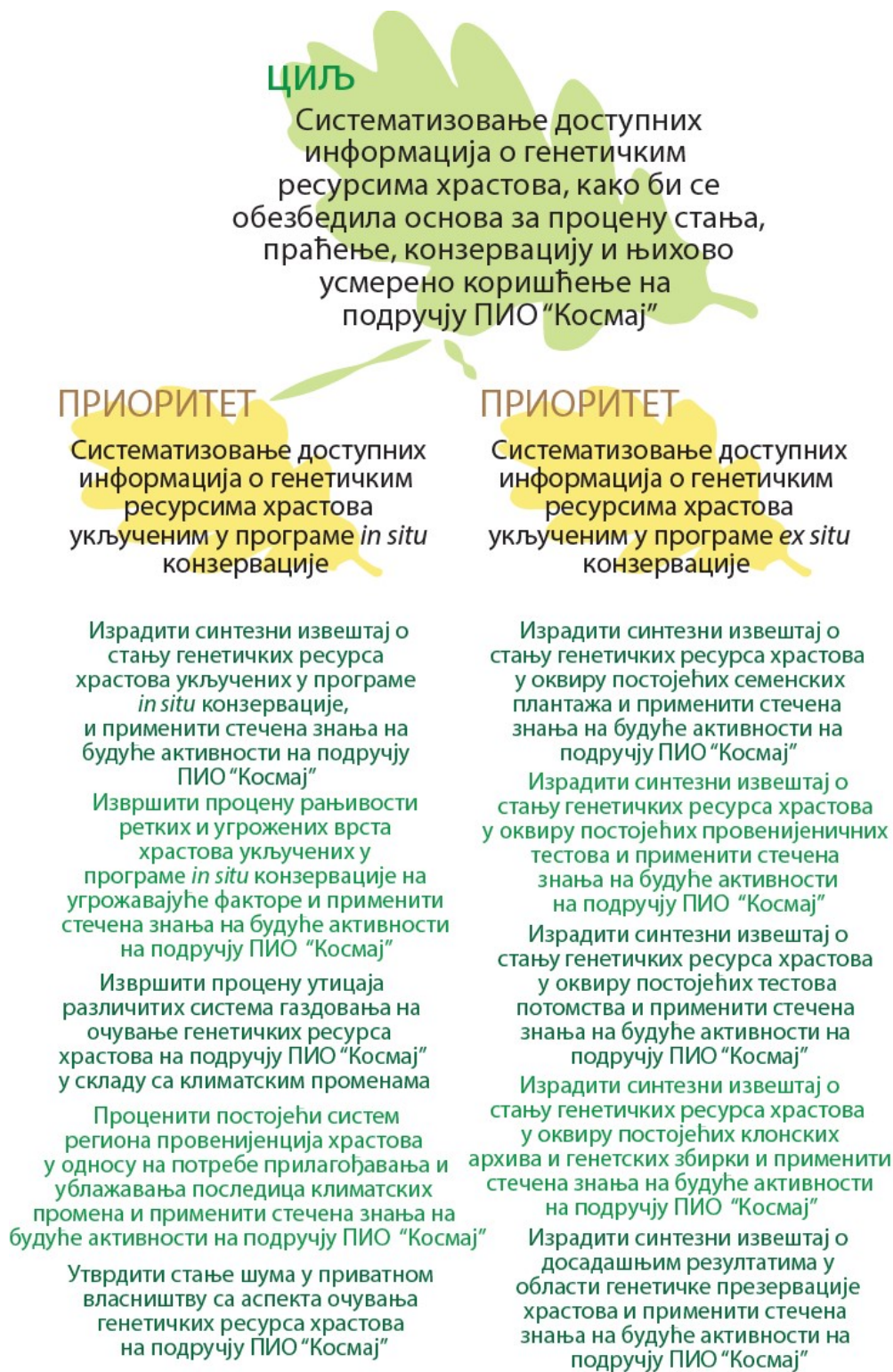
Прилог 18. наставак

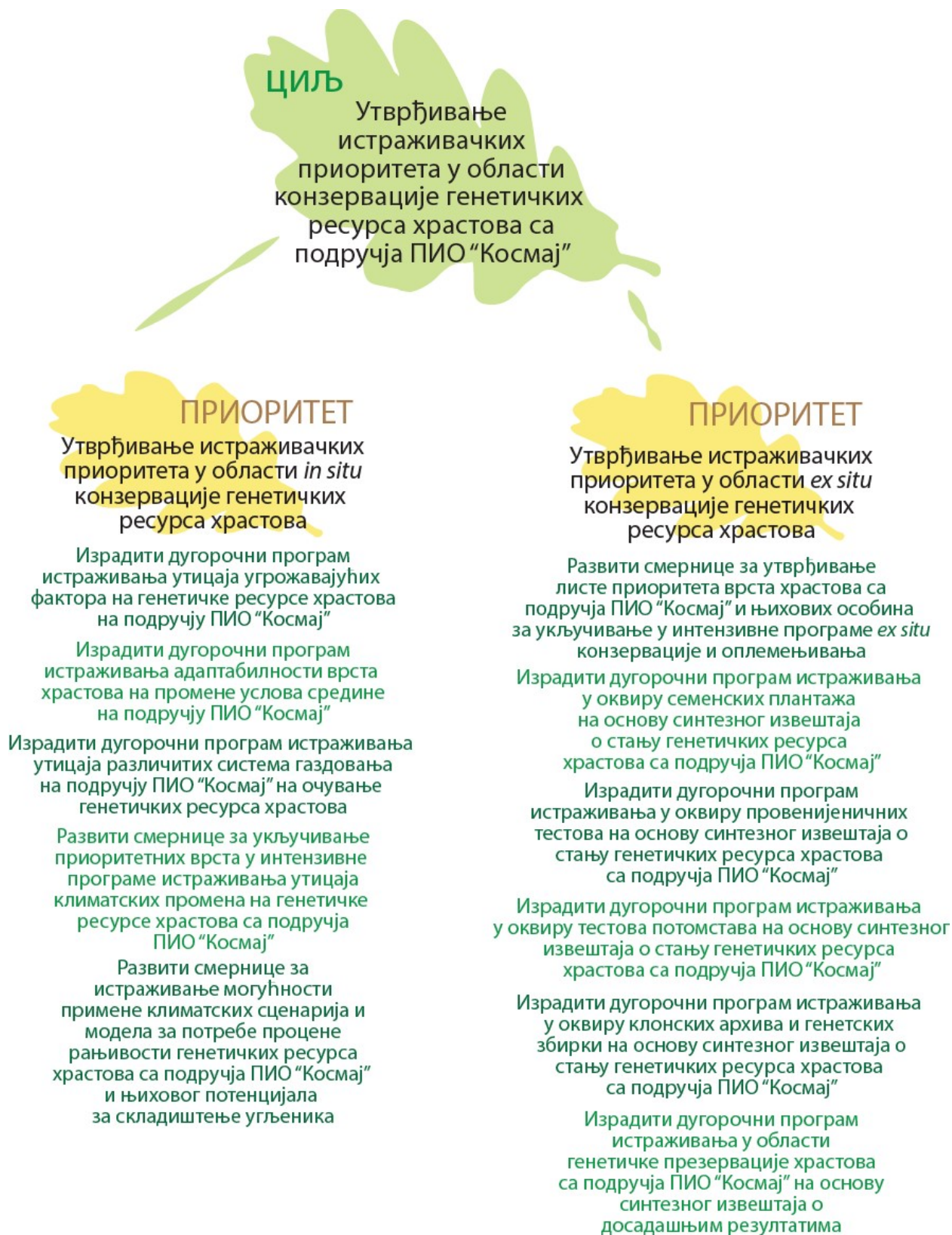


Прилог 18. *наставак*



Прилог 19. Циљеви, приоритети и мере у истраживању и едукацији у области конзервације генетичких ресурса храстова на подручју ПИО „Космај”



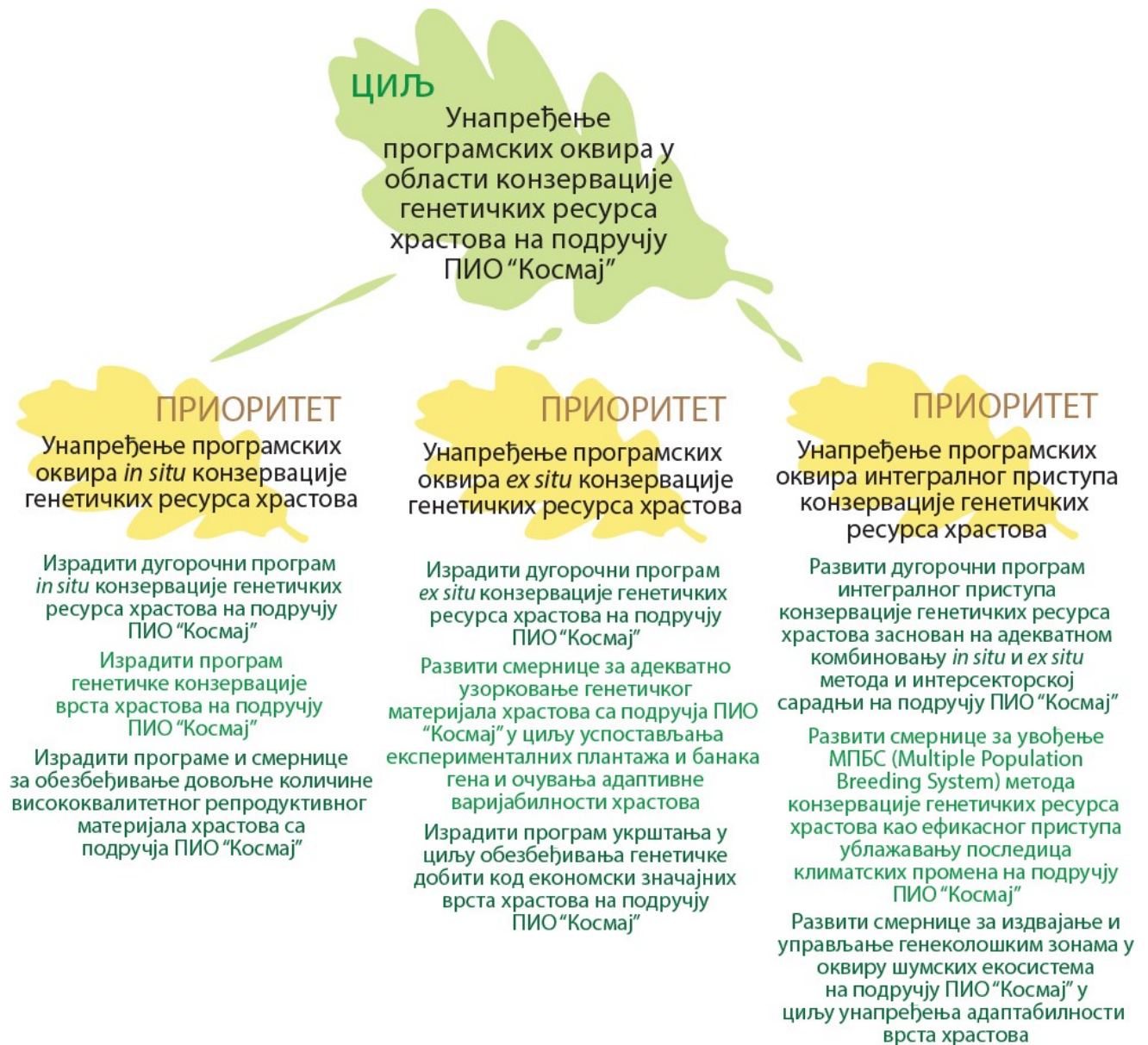




Прилог 20. Циљеви, приоритети и мере у области стратешких, законских и програмских оквира конзервације генетичких ресурса храстова са подручја ПИО „Космај”







Прилог 21. Циљеви, приоритети и мере у области међународне и међусекторске сарадње у конзервацији генетичких ресурса храстова на подручју ПИО „Космај”





Прилог 22. Циљеви, приоритети и мере у области јачања капацитета и ширења информација у конзервацији генетичких ресурса храстова на подручју ПИО „Космај”





Прилог 23. Циљеви, приоритети и мере у области конзервације генетичких ресурса храстова у складу са Националним програмом конзервације шумских генетичких ресурса



ЦИЉ

Спровођење и праћење активности у области *in situ* конзервације генетичких ресурса хрстова са подручја ПИО "Космај"

ПРИОРИТЕТ

Праћење утицаја фактора који угрожавају генетичке ресурсе хрстова и креирање програма са мерама за њихово сузбијање

Компаративно анализирати степен генетичке варијабилности и рањивост популација врста хрстова са подручја ПИО "Космај" на болести и оштећења

Компаративно анализирати степен генетичке варијабилности популација врста хрстова са подручја ПИО "Космај" и њихову осетљивост на загађење

Развити био-индикаторе за праћење утицаја загађења на разноврсност врста хрстова на подручју ПИО "Космај" са нагласком на осетљиве врсте или врсте које угрожава загађење

Развити смернице за укључивање процене рањивости и адаптабилности врста хрстова на подручју ПИО "Космај" у редовни процес планирања газдовања шумама

ПРИОРИТЕТ

Увођење система *in situ* конзервације хрстова и постизање газдовања шумама у складу са конзервационим принципима

Успоставити мреже конзервационих подручја истраживаних врста хрстова оквиру подручја ПИО "Космај" и укључити их у системе газдовања

Развити систем праћења стања генетичких ресурса хрстова у оквиру подручја ПИО "Космај"

Увести савремене софтверске пакете за моделовање екосистемских процеса на подручју ПИО "Космај" у односу на промене услова средине у систем планирања управљања генетичким ресурсима хрстова

Развити смернице за усклађивање система газдовања са постизањем највишег степена коришћења природних процеса и механизма саморегулације шумских екосистема на подручју ПИО "Космај" у циљу очувања биолошке разноврсности

Развити смернице за укључивање приступа мапирања и вредновања екосистемских услуга генетичких ресурса хрстова у системе редовног газдовања на подручју ПИО "Космај"

