

Varijabilnost obične borovice (*Juniperus communis* L.) u Hrvatskoj na temelju morfoloških karakteristika iglica

Mandić, Emanuel

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:487239>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ
URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA

EMANUEL MANDIĆ

VARIJABILNOST OBIČNE BOROVICE (*Juniperus communis* L.)
U HRVATSKOJ NA TEMELJU
MORFOLOŠKIH KARAKTERISTIKA IGLICA

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB (SRPANJ, 2024.)

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Zavod:	Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku
Predmet:	Dendrologija
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Igor Poljak
Asistent – znanstveni novak:	Antonio Vidaković, mag. ing. silv.
Student:	Emanuel Mandić
JMBAG:	0068236521
Akad. godina:	2023./2024.
Mjesto, datum obrane:	
Sadržaj rada:	Slika: 6 Tablica: 6 Navoda literature: 32 Stranica: 18
Sažetak:	<p>Cilj ovoga rada bio je ispitati morfološku varijabilnost iglica obične borovice (<i>Juniperus communis</i> L., Cupressaceae). Istraživanje je provedeno na osnovi šest morfoloških svojstava iglica, sakupljenih u 15 prirodnih populacija na području Hrvatske.</p> <p>Istraživanjem je utvrđena visoka varijabilnost istraživanih morfoloških svojstava, čiji su se koeficijenti varijabilnosti kretali u rasponu od 17,04 % za maksimalnu širinu iglice do 28,52 % za površinu iglice. Osim toga, istraživane populacije statistički su se značajno razlikovale na unutarpopulacijskoj i međupopulacijskoj razini po svim mjerenim morfološkim svojstvima. Multivarijatnim statističkim metodama utvrđeno je grupiranje populacija po ekološko geografskom principu. Općenito gledano, istarske populacije odvojile su se od ostalih istraživanih populacija, a karakterizirale su ih duže iglice.</p>



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 12.07.2024.

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 12. srpnja 2024. godine.

vlastoručni potpis

Ime i prezime: Emanuel Mandić

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Rod <i>Juniperus</i> L.....	1
1.2. Morfologija i biologija istraživane vrste.....	1
1.3. Prirodna rasprostranjenost i ekološke značajke istraživane vrste.....	4
1.4. Dosadašnja istraživanja.....	5
2. CILJ RADA.....	6
3. MATERIJAL I METODE.....	7
3.1. Materijal.....	7
3.2. Morfometrijska analiza iglica.....	8
3.3. Statistička obrada podataka.....	9
4. REZULTATI.....	10
4.1. Deskriptivna statistika.....	10
4.2. Analiza varijance (ANOVA).....	12
4.3. Analiza glavnih sastavnica (PCA).....	13
5. RASPRAVA.....	15
6. ZAKLJUČCI.....	16
7. LITERATURA.....	17

1. UVOD

1.1. Rod *Juniperus* L.

Rod *Juniperus* L. (borovice) pripada potporodici Cupressoideae te predstavlja najveći rod u porodici Cupressaceae, a obuhvaća 68 vrsta (Herman 1971; Hantemirova i dr. 2012; Adams i dr. 2003, 2014).

Vrste ovoga roda su vazdazeleni grmovi ili manja stabla u kojih se kora ljušti u uzdužnim ljuskama. Razgranjenje u borovica nije pršljenasto, a lišće može biti ljuskasto i nasuprotno ili igličasto, po tri u pršljenu. Na mladim biljkama lišće je uvijek igličasto, a na starijim biljkama ili sve igličasto ili sve ljuskasto, ili pak oba tipa lišća zajedno. Uglavnom se radi o dvodomnim, rjeđe jednodomnim biljkama. Muški cvjetovi su jajasti ili duguljasti, smješteni na vrhovima ili u pazušcima kratkih izbojaka, dok su ženski češerasti cvatovi kuglasti, a sastoje se od 3-6 ljusaka, od kojih neke, ili sve, nose jedan ili dva sjemena zametka. Češeri su bobuljasti i kuglasti, a sastoje se od čvrsto sraslih, manje ili više mesnatih ljusaka. Plodne i pokrovne ljuske su srasle. Dozrijevaju prve, druge ili treće godine i nakon dozrijevanja se ne otvaraju i otpadaju cijeli. U češeru se nalazi 1-10 sjemenki, koje su bez krilca, jajaste, zaobljene ili uglaste, često brazdaste, smeđe, imaju tvrdi ljusku, a na osnovi imaju izbočinu. Kotiledona 2 ili 4-6. Broj kromosoma iznosi $n=11$, s iznimkom vrste *J. chinensis* L. gdje je $n=22$ (Vidaković 1993).

Vrste ovoga roda možemo podijeliti u tri podroda: *Caryocedrus* (Endl.) Gaussen, *Oxycedrus* (Spach) Gaussen i *Sabina* (Spach) Gaussen.

1.2. Morfologija i biologija istraživane vrste

Obična borovica ili kleka (*Juniperus communis* L.) najčešće raste kao vazdazeleni grm (Slika 1) te rijetko kao niže stablo. Kao grm može doseći visinu od 3 do 5 m, dok kao stablo može narasti u visinu i do 15 m (Vidaković 1993). Habitus može biti različit, a najčešće je čunjast ili jajast (Slika 2). U ekstremnim uvjetima može čak i rasti poleglo uz tlo.

Deblo je izrazito žljebasto, grane uzdignute ili viseće (nisu u pršljenovima). Kora je u početku glatka, kasnije ispucala, odvaja se u obliku ljuski i traka. Korijenov je sustav razgranat sa žilom srčanicom. Pupovi sitni i obloženi ljuskama. Lišće je igličasto, po tri u pršljenu, dugo od 5-20 (-30) mm i do 2 mm široko. Igllice su uspravne, bodljikave, najšire u prvoj trećini dužine igličastog lista s postupnim suženjem prema šiljastom vrhu. Igličasti listovi su s donje strane zeleni, a s gornje strane po sredini, cijelom dužinom iglice imaju bijelu ili sivu prugu puči (Franjić i Škvorc 2013).



Slika 1. *Juniperus communis* u prirodnom staništu (Izvor: inaturalist, *Juniperus communis* <https://www.inaturalist.org/observations/57854395> (Pristupljeno: 14.6.2024.).



Slika 2. Habitus obične borovice (Izvor: inaturalist, *Juniperus communis* <https://www.inaturalist.org/observations/127986226> (Pristupljeno: 14.6.2024.).

Cvjetovi obične borovice su dvodomni i anemofilni (Idžojić 2013). Cvjetanje traje od travnja do lipnja. Muški cvjetovi su valjkasti, žute boje, 4-5 mm dugački, a građeni su od pet ili šest pršljena prašničkih listova. U svakom pršljenu se nalaze tri prašnička lista koji nose po tri ili četiri peludnice. Ženski cvjetovi se nalaze u 2 mm dugačkim neuočljivim, žućkasto zelenim češerastim cvatovima koji su građeni od tri ili četiri pršljena plodnih listova. U pršljenu se nalaze po tri duguljasta šiljasta plodna lista od kojih su tri vršna konkavno savijena i svaki nosi po jedan sjemeni zametak. Pokrovni listovi srasli su s plodnima. Muški cvjetovi i ženski češerasti cvatovi se nalaze u pazušcima iglica prošlogodišnjih izbojaka.

Bobuljasti češeri su kuglasti do jajasti (Slika 3), u početku zeleni, zreli su crnkastoplavi, nahukani, 4-9 mm veliki; građeni od tri srasle, mesnate smolave plodne ljuske; vise na kratkoj stapci; nisu otrovni, osim u većim količinama. Sadrže dvije (1-3) trokutaste, smeđe, neokriljene, tvrde, 5-6 mm dugačke, 3-4 mm široke sjemenke. Masa 1000 sjemenki je 10 g. Dozrijevaju u jesen i zimi sljedeće ili tek u proljeće treće godine. Sjeme ove vrste se rasprostire putem životinja, najčešće pomoću ptica (Idžojić 2013).



Slika 3. Igličasti listovi s bobuljastim češerima (Izvor: inaturalist, *Juniperus communis* <https://www.inaturalist.org/observations/65083431> (Pristupljeno: 14.6.2024.)

Drvo obične borovice je mekano, elastično, trajno i osobito podesno za tokarske i rezbarske radove. Bobuljasti češeri se mogu koristiti kao lijek, začim i za izradu rakije, a suhe grane za kađenje mesa (Herman 1971; Vidaković 1993).

1.3. Prirodna rasprostranjenost i ekološke značajke istraživane vrste

Obična borovica je vrsta izrazito široke ekološke valencije te je najrasprostranjenija četinjača na Zemlji, čiji areal obuhvaća cijelu sjevernu polutku, tj. sjevernu Afriku, čitavu Europu, srednju i sjevernu Aziju i Sjevernu Ameriku (Slika 4). U južnoj Europi rasprostire se u brdskim područjima. U svojim zahtjevima na bonitet tla je veoma skromna. Osim toga, dobro podnosi ne samo niske zimske temperature, nego i ekstremne ljetne temperature (Herman 1971).



Slika 4. Prirodna rasprostranjenost *Juniperus communis*

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Juniperus_communis_range.svg (Pristupljeno 14.6.2024.)

S obzirom na to da je obična borovica otporna na hladnoću, posjeduje kseromorfne karakteristike i može formirati polegale grmove, zbog čega je mogla preživjeti glacijalna razdoblja ne samo u južnim, već i u sjevernim pribježištima. Važna evolucijska prilagodba obične borovice je specifičan mesnati oblik češera (bobuljasti češer) koji sadrži sjeme koje se širi pticama i malim sisavcima, što je omogućilo brzo koloniziranje novih područja u interglacijalnim razdobljima. Osim toga, oprašivanje vjetrom omogućilo je uspješan protok gena na veće udaljenosti. Kombinacija ovih karakteristika ukazuje na veliki evolucijski potencijal borovice i njenu sposobnost uspješnog suočavanja s klimatskim promjenama (Hantemirova i dr. 2017; Knyazeva i Hantemirova 2020).

Široka geografska rasprostranjenost obične borovice, kao i njena široka ekološka valencija omogućila je formiranje različitih životnih oblika ove vrste, od poleglih grmova do stabala. Poteškoće u taksonomskoj klasifikaciji podvrsta također su povezane s visokom varijabilnošću morfoloških osobina ove vrste. Ovo je vrlo polimorfna vrsta sa složenom i često kontroverznom taksonomijom (Knyazeva i Hantemirova 2020).

U Hrvatskoj je obična borovica vrlo raširena vrsta, a raste od nizinskoga do planinskoga pojasa. Prirodno opstaje samo u otvorenim biljnim zajednicama zbog visokih potreba za svjetlom. Najčešće nastanjuje područja izložena direktnom suncu kao što su rubovi šuma, šikare, vrištine, neplodni travnjaci, pašnjaci i sl. Posebno je zastupljena na siromašnim otvorenim područjima, kao što su gorske livade i vrištine, gdje predstavlja prepoznatljiv pejzažni element. Zahvaljujući svojim biološkim i ekološkim osobinama, ova vrsta ima izuzetan pionirski karakter (Franjić i Škvorc 2013).

1.4. Dosadašnja istraživanja

García i dr. (2000) istražuju geografsku varijabilnost u proizvodnji sjemena te gubitku sjemena zbog neuspjelog oprašivanja i divljih životinja na uzorku od 31 populacije obične borovice na području Europe. Broj sjemenki značajno je varirao između i unutar istraživanih populacija, pri čemu su mediteranske populacije imale najveći udio šturog sjemena i najmanje zdravog sjemena. Gubici uzrokovani hranjenjem divljih životinja značajno su varirali na regionalnoj razini, ali nisu pokazali značajne razlike unutar regija, što upućuje na to da predacija ovisi ponajviše o lokalnim čimbenicima. Gubitak sjemena uslijed neuspjele oplodnje također je značajno varirao između regija i populacija, a najveći je bio u pirinejskim populacijama. Zanimljivo je da se proizvodnja zdravog sjemena postepeno smanjivala prema sjeveru i jugu, odnosno prema rubovima areala.

Adams i Pandey (2003) istražuju i uspoređuju sedam varijeteta *Juniperus communis*, s ciljem utvrđivanja razlika između njih na osnovi RAPD markera: var. *communis*, var. *depressa* Pursh, var. *hemispherica* J. et C. Presl, var. *megistocarpa* Fern. et St. John, var. *nipponica* (Maxim.) Wils., var. *oblonga* hort. ex Loudon i var. *saxatilis* Pall. Uzorci za istraživanja sakupljeni su na 15 lokaliteta diljem Sjeverne Amerike, Europe i Azije uključujući Grenland, Island, Japan, Nevadu i Armeniju. Istraživanje je pokazalo da je *Juniperus communis* vrlo varijabilna vrsta te da ne postoji genetički temelj za prepoznavanje var. *hemispherica*, var. *oblonga* i var. *nipponica*.

Vaičiulytė i Ložienė (2013) istražuju morfološke parametre iglica i nezrelih češera. Listovi i češeri su sakupljeni odvojeno s 110 jedinki obične borovice u 11 različitih stanišnih tipova diljem Litve. Zaključili su kako se iglice ove vrste statistički značajno razlikuju na unutarpopulacijskoj i međupopulacijskoj razini te da je prosječna dužina iglica 12,3 mm.

Vasić i dr. (2014) proučavali su morfologiju iglica obične borovice i njezinu povezanost s geografskim čimbenicima u Srbiji te su utvrdili da s povećanjem nadmorske visine dolazi do smanjenja dužine iglica, dok njihova širina i debljina rastu.

Knyazeva i Hantemirova (2020) provode analizu varijabilnosti prirodnih populacija obične borovice korištenjem anatomsko-morfoloških i genetičkih metoda, uključujući metode analize aloenzima i analize varijabilnosti kloroplastne DNK (cpDNK). U istraživanje uključuju biljni materijal iz 27 populacija s područja Europe, Azije i Sjeverne Amerike. Rezultati su pokazali visoku morfološku prilagodljivost obilježja iglica te izraženu varijabilnost među populacijama. Nadalje, iako var. *communis* i var. *saxatilis* ne pokazuju genetičke razlike, one iskazuju značajne morfološke razlike koje proizlaze iz različitih ekoloških uvjeta u kojima se razvijaju, zbog čega ih je prikladnije klasificirati kao ekotipove.

2. CILJ RADA

Cilj ovoga rada bio je ispitati unutarpopulacijsku i međupopulacijsku varijabilnost iglica obične borovice te utvrditi morfološke razlike u iglicama između muških i ženskih jedinki. Istraživanje morfološke varijabilnosti iglica provedeno je na osnovi šest morfoloških svojstava iglica, sakupljenih u 15 prirodnih populacija na području Hrvatske. Pri analizi podataka korištene su multivarijatne i deskriptivne statističke metode.

Na temelju postavljenog cilja provedene su sljedeće aktivnosti:

1. prikupljena je literatura o relevantnim istraživanjima;
2. prikupljeni su podaci o istraživanoj vrsti i području istraživanja;
3. napravljen je plan uzorkovanja;
4. sakupljeni su uzorci biljnog materijala za morfometrijska istraživanja;
5. izvršene su analize uzoraka u laboratoriju;
6. statistički su obrađeni i analizirani dobiveni rezultati te su interpretirani u skladu s ciljevima istraživanja;
7. izvedeni su zaključci na temelju dobivenih rezultata.

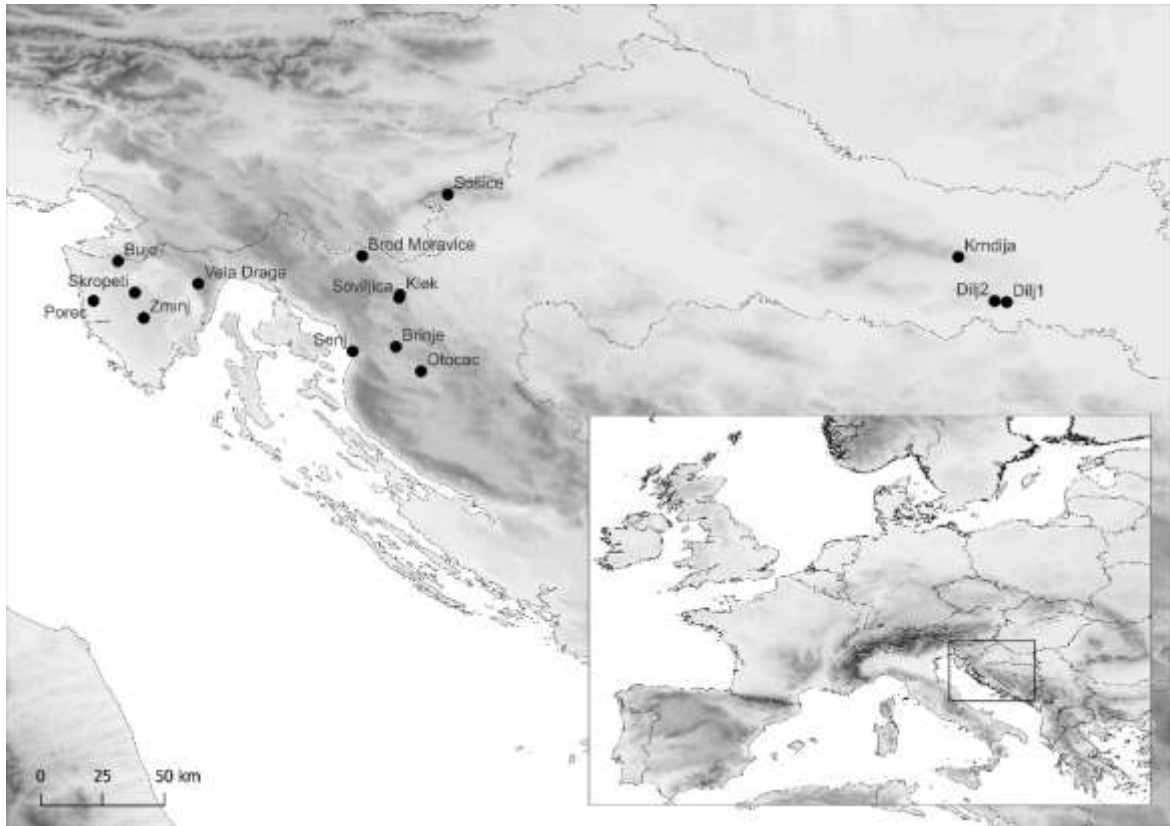
3. MATERIJAL I METODE

3.1. Materijal

U istraživanje je uključeno 15 populacija obične borovice iz Hrvatske (Tablica 1, Slika 5). Terenska istraživanja provedena su tijekom 2023. godine. Terenski rad je obuhvaćao sakupljanje uzoraka iglica za morfometrijsku analizu. Na svakom lokalitetu sakupljeno je po 20 iglica s kratkih, osunčanih izbojaka s po 10 muških i 10 ženskih grmova/stabala. Sakupljeni materijal je herbariziran i pohranjen u Zavodu za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu.

Tablica 1. Opće značajke istraživanih populacija.

Populacija	Geografska širina (°)	Geografska dužina (°)	Nadmorska visina (m)
Brinje	44,007278	15,141000	770
Brod Moravice	45,455333	14,974333	557
Buje	45,429686	13,770446	368
Dilj1	45,227557	18,153466	173
Dilj2	45,232893	18,093600	184
Klek	45,263278	15,160917	1118
Krndija	45,449854	17,914376	561
Otočac	44,886111	15,264750	438
Poreč	45,233861	13,649194	13
Senj	44,984444	14,928278	25
Škropeti	45,274278	13,853583	328
Sošice	45,759194	15,397028	570
Soviljica	45,249333	15,156833	818
Vela Draga	45,318108	14,166210	419
Žminj	45,149889	13,897417	368



Slika 5. Lokacije 15 istraživanih populacija obične borovice.

3.2. Morfometrijska analiza iglica

Nakon što su listovi herbarizirani, skenirani su sa skenerom MICROTEK ScanMaker 4800, pomoću računalnog programa WinFOLIA (WinFolia TM 2001), dizajniranog posebno za vršenje preciznih morfoloških mjerenja listova. Podaci koji su nastali u programu WinFOLIA pohranjeni su u standardnim ASCII tekstualnim datotekama, koje se lako otvaraju programima za statistiku ili proračunskim tablicama kao što je Microsoft Office Excel.

Na svakoj iglici mjerene su sljedeće morfološke značajke: površina iglice (NA); dužina iglice (NL); maksimalna širina iglice (MNW); širina iglice na 50 % dužine iglice (NW50); kut koji zatvara glavna lisna žila s pravcem koji je definiran osnovom iglice i točkom na rubu iglice, koja se nalazi na 10 % dužine iglice (NA10); i kut koji zatvara glavna lisna žila s pravcem koji je definiran osnovom iglice i točkom na rubu iglice, koja se nalazi na 25 % dužine iglice (NA25) (Tablica 2).

Tablica 2. Prikaz mjerenih morfoloških značajki na iglicama obične borovice.

Značajka	Oznaka	Mjerna jedinica
Površina iglice	NA	cm ²
Dužina iglice	NL	cm
Maksimalna širina iglice	MNW	cm
Širina iglice na 50 % dužine iglice	NW50	cm
Kut koji zatvara glavna lisna žila s pravcem koji je definiran osnovom iglice i točkom na rubu iglice, koja se nalazi na 10 % dužine iglice	NA10	(°)
Kut koji zatvara glavna lisna žila s pravcem koji je definiran osnovom iglice i točkom na rubu iglice, koja se nalazi na 25 % dužine iglice	NA25	(°)

3.3. Statistička obrada podataka

Za statističku obradu korištene su standardne formule deskriptivne i multivarijatnih statističkih metoda (Sokal i Rohlf 1989; McGarigal i dr. 2000). Kod statističke obrade podataka korišten je programski paket Statistica for Windows (StatSoft, Inc. 2001).

Za svaku istraživanu značajku određeni su sljedeći deskriptivni statistički pokazatelji: aritmetička sredina (M), standardna devijacija (SD) i koeficijent varijacije (CV%). Testirana je i normalnost distribucije podataka (Kolmogorov-Smirnov test) i homogenost varijanci (Leveneov test). Analiza varijance je korištena kako bi se utvrdile razlike između populacija i između grmova unutar populacija. Faktor "grm/stablo" bio je fiksiran unutar faktora "populacija".

Za utvrđivanje sličnosti, odnosno različitosti između istraživanih populacija provedena je analiza glavnih sastavnica (*principal component analysis*; PCA). Broj glavnih sastavnica određen je na temelju svojstvenih vrijednosti (*eigenvalues*) glavnih sastavnica, korištenjem Kaiserovog kriterija koji zadržava sastavnice u kojih su svojstvene vrijednosti veće od 1 i Catellovog dijagrama (*scree plot*; Cattell 1966), kao i kumulativnog postotka objašnjene varijance. U konačnici je izrađen dijagram u kojem je u koordinatnom sustavu točkama prikazan položaj analiziranih populacija.

4. REZULTATI

4.1. Deskriptivna statistika

Rezultati deskriptivne statističke analize po populacijama prikazani su u Tablici 3, dok su rezultati za muške i ženske jedinice te ukupno za sve populacije prikazani u Tablici 4. Za svaku mjerenu morfološku značajku prikazani su sljedeći deskriptivni statistički pokazatelji: aritmetička sredina (M), standardna devijacija (SD) i koeficijent varijacije (CV %). Maksimalne vrijednosti označene su crvenom, a minimalne vrijednosti zelenom bojom.

Promatrajući pojedinačne populacije, populacija Poreč se ističe po najvećim prosječnim vrijednostima za tri od šest značajki: površinu iglica ($0,17 \text{ cm}^2$), dužinu iglica ($1,55 \text{ cm}$) i za širinu iglice na 50 % dužine ($0,13 \text{ cm}$), što upućuje na to da navedena populacija ima najduže i najšire iglice u usporedbi s ostalim populacijama. Populacija Klek se s druge strane ističe po najmanjoj površini iglica ($0,11 \text{ cm}^2$) i najmanjoj maksimalnoj širini iglica ($0,12 \text{ cm}$) te najmanjoj širini iglica na 50 % dužine ($0,10 \text{ cm}$). Najkraće iglice bile su svojstvene populaciji Brinje ($1,17 \text{ cm}$), dok su one prosječno najšire ($0,14 \text{ cm}$) zabilježene u populacijama Buje, Dilj1, Dilj2, Krndija, Otočac, Poreč i Žminj. Najšira baza iglice bila je karakteristična za populacije Senj ($NA_{10}=27,72^\circ$) i Otočac ($NA_{25}=12,47^\circ$), dok je ona najuža bila u populaciji Vela Draga ($NA_{10}=21,16^\circ$ i $NA_{25}=9,34^\circ$).

Populacija Buje ima najveći koeficijent varijabilnosti od 28,93 % što se tiče površine iglica (NA), dok populacija Brod Moravice ima najmanji koeficijent varijabilnosti ($CV=21,56 \%$) za istu značajku. Nadalje, populacija Brod Moravice ima i najmanji koeficijent varijabilnosti za dužinu iglice ($12,18 \%$), što ju čini najmanje varijabilnom populacijom. S druge strane, s koeficijentom varijabilnosti od 21,14 %, populacija Sošice imala je najvarijabilniju dužinu iglica. Maksimalna širina iglica bila je najmanje varijabilna u populaciji Dilj2 ($14,28 \%$), a najvarijabilnija u populaciji Soviljica ($19,17 \%$). Kutovi koji opisuju bazu iglice bili su najmanje varijabilni u populaciji Žminj ($CV=17,52 \%$; $CV=20,69 \%$), dok su najveću varijabilnost pokazali u populacijama Brinje ($CV=27,74 \%$) i Otočac ($CV=24,71 \%$).

Tablica 3. Rezultati deskriptivne statistike za morfološka obilježja iglica. Analizirana morfološka obilježja kao u Tablici 2. Deskriptivni parametri: M–aritmetička sredina; SD–standardna devijacija; CV–koeficijent varijabilnosti.

Populacija	Deskriptivni pokazatelj	NA	NL	MNW	NW50	NA10	NA25
Brinje	M	0,12	1,17	0,13	0,11	25,54	11,39
	SD	0,03	0,17	0,02	0,02	5,85	3,16
	CV(%)	22,67	14,57	18,86	20,90	22,90	27,74
Brod Moravice	M	0,12	1,20	0,13	0,12	25,36	11,40
	SD	0,03	0,15	0,02	0,02	5,09	2,57
	CV(%)	21,56	12,18	17,50	19,31	20,07	22,53
Buje	M	0,15	1,43	0,14	0,12	23,70	10,24
	SD	0,04	0,29	0,02	0,02	5,64	2,80
	CV(%)	28,93	20,49	16,09	17,24	23,78	27,40
Dilj1	M	0,14	1,31	0,14	0,12	25,26	11,49
	SD	0,04	0,22	0,02	0,02	4,76	2,48
	CV(%)	28,36	16,78	16,18	18,18	18,85	21,61
Dilj2	M	0,13	1,27	0,14	0,13	26,65	12,30
	SD	0,03	0,20	0,02	0,02	5,46	3,16
	CV(%)	21,87	15,82	14,28	17,71	20,49	25,67
Klek	M	0,11	1,21	0,12	0,10	24,45	10,67
	SD	0,03	0,20	0,02	0,02	5,05	2,71
	CV(%)	25,24	16,50	17,73	19,57	20,64	25,38
Krndija	M	0,13	1,28	0,14	0,12	26,54	11,83
	SD	0,03	0,16	0,02	0,02	5,43	2,73
	CV(%)	22,09	12,55	17,24	20,00	20,47	23,06
Otočac	M	0,13	1,24	0,14	0,12	27,49	12,47
	SD	0,04	0,25	0,02	0,02	6,79	3,39
	CV(%)	28,00	20,06	17,05	19,50	24,71	27,20
Poreč	M	0,17	1,55	0,14	0,13	23,57	10,16
	SD	0,04	0,24	0,02	0,02	4,39	2,13
	CV(%)	24,93	15,59	14,38	16,13	18,64	20,93
Senj	M	0,11	1,21	0,13	0,11	27,72	12,33
	SD	0,03	0,20	0,02	0,02	5,36	2,75
	CV(%)	24,90	16,79	14,73	17,72	19,34	22,29
Škropeti	M	0,14	1,38	0,13	0,12	23,19	10,19
	SD	0,04	0,24	0,02	0,02	5,54	2,63
	CV(%)	26,95	17,53	16,15	18,61	23,89	25,80
Sošice	M	0,14	1,28	0,13	0,12	24,04	11,10
	SD	0,04	0,27	0,02	0,02	5,68	2,85
	CV(%)	28,48	21,14	14,96	18,20	23,63	25,69
Soviljica	M	0,12	1,20	0,12	0,11	22,82	10,51
	SD	0,03	0,20	0,02	0,03	5,64	2,88
	CV(%)	26,36	16,36	19,17	23,16	24,70	27,43
Vela Draga	M	0,16	1,47	0,13	0,12	21,16	9,34
	SD	0,04	0,27	0,02	0,02	4,83	2,28
	CV(%)	28,03	18,47	16,38	19,08	22,82	24,44
Žminj	M	0,14	1,28	0,14	0,12	25,61	11,59
	SD	0,03	0,19	0,02	0,02	4,49	2,40
	CV(%)	22,42	14,55	14,87	17,87	17,52	20,69

Na razini svih populacija zajedno, iglice obične borovice bile su prosječno 1,30 cm dugačke i 0,13 cm široke (Tablica 4). Prosječna površina iglice iznosila je 0,13 cm², a prosječna širina iglice na 50 % njene dužine 0,12 cm. Kut koji zatvara glavna lisna žila s pravcem koji je definiran osnovom iglice i točkom na rubu iglice, koja se nalazi na 10 % dužine iglice prosječno je iznosio 24,89°, a kut koji zatvara glavna lisna žila s pravcem koji je definiran osnovom iglice i točkom na rubu iglice, koja se nalazi na 25 % dužine iglice 11,14°. S koeficijentom varijabilnosti od 28,52 %, površina iglice bila je najvarijabilnija značajka, dok je najmanje varijabilna, s koeficijent varijabilnosti od 17,04 % bila maksimalna širina iglice. U ostalih je značajki koeficijent varijabilnosti bio u rasponu od 18,85 do 25,93 %.

Rezultati su također pokazali da su iglice sa ženskih jedinki u prosjeku veće po površini i duže od iglica s muških jedinki, te znatno varijabilnije, budući da su koeficijenti varijabilnosti u ženskih jedinki bili veći za sve mjerene značajke. Iglice su na muškim biljkama bile prosječno šire, što uključuje i bazu iglice.

Tablica 4. Rezultati deskriptivne statistike za morfološka obilježja iglica obične borovice po spolovima i ukupno za sve populacije zajedno. Oznake značajki kao u Tablici 2 i deskriptivnih parametara kao u Tablici 3.

Spol	Deskriptivni pokazatelj	NA	NL	MNW	NW50	NA10	NA25
Muški	M	0,13	1,25	0,14	0,12	26,44	11,87
	SD	0,03	0,22	0,02	0,02	5,51	2,88
	CV(%)	26,68	18,01	16,34	18,82	20,85	24,24
Ženski	M	0,14	1,35	0,13	0,12	23,35	10,42
	SD	0,04	0,25	0,02	0,02	5,35	2,72
	CV(%)	29,81	18,79	17,53	20,28	22,89	26,07
Ukupno	M	0,13	1,30	0,13	0,12	24,89	11,14
	SD	0,04	0,24	0,02	0,02	5,65	2,89
	CV(%)	28,52	18,85	17,04	19,59	22,68	25,93

4.2. Analiza varijance (ANOVA)

Analizirani faktori varijabilnosti bili su populacija i grm/stablo (populacija). Analizom varijance utvrđene su statistički značajne razlike na međupopulacijskoj i unutarpopulacijskoj razini prema svim mjerenim značajkama iglica (Tablica 5). Metodom najveće vjerodostojnosti (REML) dobiven je uvid u zastupljenost pojedinih izvora varijabilnosti u ukupnoj varijanci za sve istraživane varijable. Iz navedenih rezultata vidljivo je da najveći udio u ukupnoj varijabilnosti zauzima komponenta ostatka, osim za značajku dužina iglica gdje najveći udio od ukupne varijabilnosti otpada na unutarpopulacijsku varijabilnost.

Tablica 5. Rezultati hijerarhijske analize varijance morfoloških obilježja iglica obične borovice. Oznake mjerenih značajki kao u Tablici 2.

Varijabla	Efekt	% varijabilnosti	F	<i>p</i>
NA	Populacija	16,96	9,535	< 0,0001
	Grm/stablo (populacija)	37,18	17,212	< 0,0001
	Ostatak	45,86		
NL	Populacija	17,67	7,89	< 0,0001
	Grm/stablo (populacija)	49,23	30,74	< 0,0001
	Ostatak	33,10		
MNW	Populacija	7,17	5,67	< 0,0001
	Grm/stablo (populacija)	27,45	9,40	< 0,0001
	Ostatak	65,38		
NW50	Populacija	6,61	5,37	< 0,0001
	Grm/stablo (populacija)	26,93	9,10	< 0,0001
	Ostatak	66,46		
NA25	Populacija	8,26	4,58	< 0,0001
	Grm/stablo (populacija)	43,17	18,77	< 0,0001
	Ostatak	48,58		
NA50	Populacija	8,06	4,446	< 0,0001
	Grm/stablo (populacija)	43,92	19,290	< 0,0001
	Ostatak	48,02		

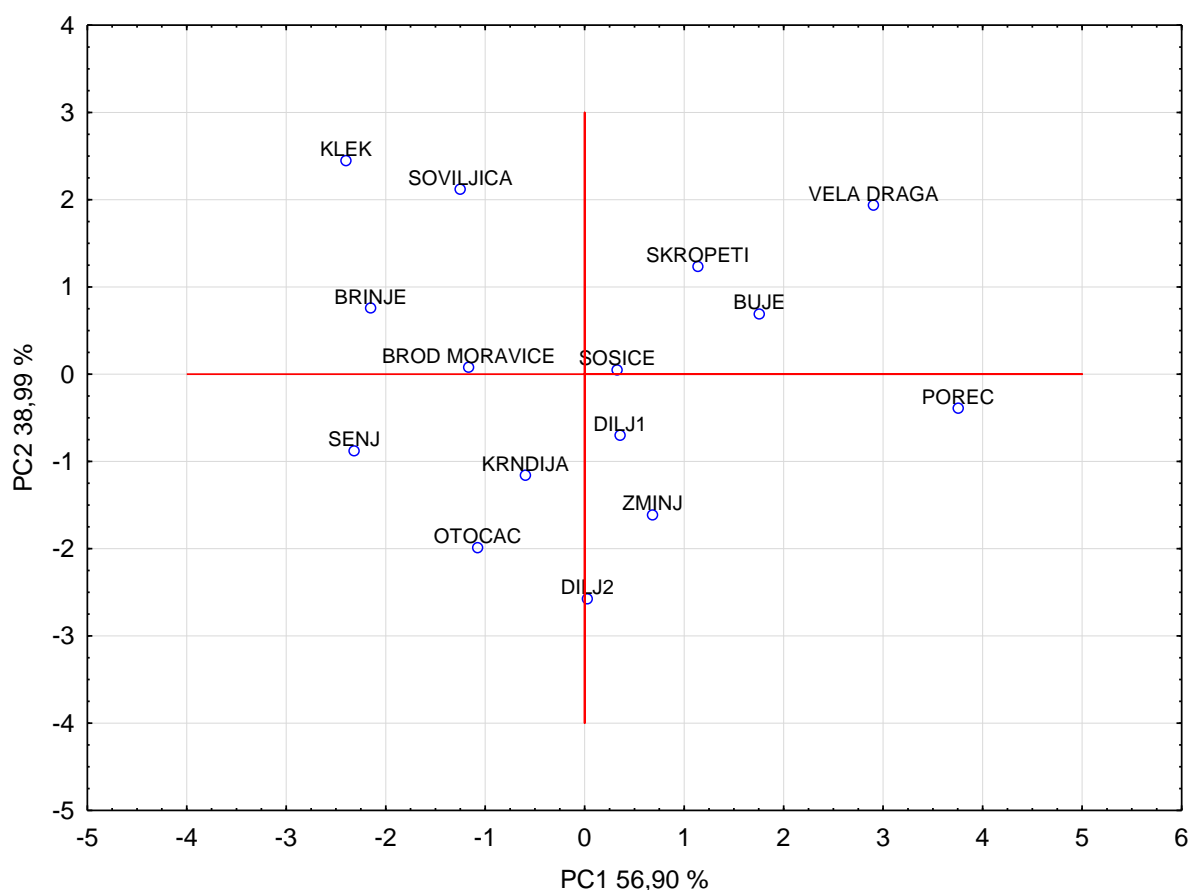
4.3. Analiza glavnih sastavnica (PCA)

Rezultati provedene analize glavnih sastavnica morfoloških značajki iglica prikazani su u Tablici 6 i na Slici 6. Provedenom analizom utvrđeno je da prve tri glavne sastavnice kumulativno objašnjavaju 99,28 % ukupne varijabilnosti. Prva sastavnica (PC1) objašnjava 56,90 % od ukupne varijabilnosti, dok ostale dvije sastavnice objašnjavaju 38,99 i 3,39 %. Svojstvena vrijednost veća od 1 dobivena je za prve dvije sastavnice, a iznosila je 3,41 za prvu i 2,34 za drugu sastavnicu.

Iz Tablice 6 vidljivo je da je prva glavna sastavnica u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa značajkama NA i NL, dok je druga sastavnica u značajnoj negativnoj korelaciji sa značajkama MNW, NW50, NA10 i NA25. Na Slici 6 vidljivo je odvajanje istarskih populacija s desne strane dijagrama, koje su bile karakterizirane najdužim i najširim iglicama. S druge strane, populacije Klek, Senj i Brinje odvojile su se na lijevoj strani, a bile su karakterizirane najmanjim vrijednostima dimenzija iglica.

Tablica 6. Pearsonov koeficijent korelacije između morfoloških značajki iglica i prve tri glavne sastavnice. Oznake mjerenih značajki kao u Tablici 2.

Varijabla	PC-glavna sastavnica		
	PC1	PC2	PC3
NA	0,991547	-0,094833	-0,016498
NL	0,955364	0,097947	-0,269613
MNW	0,611500	-0,777679	-0,058523
NW50	0,656190	-0,700091	0,273567
NA10	-0,588708	-0,772399	-0,228017
NA25	-0,605896	-0,793338	0,006640
Svojstvena vrijednost	3,41	2,34	0,20
% varijabilnosti	56,90	38,99	3,39
% kumulativne varijabilnosti	56,90	95,89	99,28



Slika 6. Grafički prikaz analize glavnih sastavnica (PCA), provedene na temelju šest morfoloških značajki iglica obične borovice iz 15 prirodnih populacija.

5. RASPRAVA

Istraživanje je pokazalo da su iglice obične borovice prosječno 1,30 cm dugačke i 0,13 cm široke. Navedene dimenzije se uklapaju u raspone od 1-1,5 cm za dužinu i 0,1-0,2 za širinu iglica obične borovice koje navode i drugi autori (Vidaković 1993; Idžojtić 2009). U usporedbi s istraživanjem od Vaičiulytė i Ložienė (2013), iglice u ovom istraživanju podjednako su dugačke, ali su nešto uže. Osim toga, uočljivo je da su populacije na većim nadmorskim visinama imale kraće i uže iglice. Naime, populacije Klek (1118 m n.v.), Brinje (770 m n.v.) i Soviljica (818 m n.v.) imale su znatno kraće iglice od ostalih populacija. Isto su ranije potvrdili i Vasić i dr. (2014).

Na razini pojedinačnih populacija, rezultati su pokazali da populacija Poreč, ali i ostale tri istarske populacije, odlikuju najduže i najšire iglice. Razlog tomu vjerojatno leži u činjenici da na području Istre vladaju optimalni uvjeti za rast, s velikom količinom oborina, visokom razinom insolacije i povoljnim temperaturama, za koje je poznato da pozitivno utječu na vegetativni rast u biljaka (Leuschner i dr. 2006; Royer i dr. 2009). S druge strane, najkraće i najuže iglice bile su svojstvene populaciji Klek, koja se nalazi na najvećoj nadmorskoj visini od svih istraživanih populacija. Navedene morfološke karakteristike vjerojatno su rezultat ekstremnih ekoloških i klimatskih uvjeta koji vladaju na nadmorskim visinama iznad 1000 m. Na navedenoj visini, borovica je izložena visokom UV zračenju, što može povećati transpiraciju i isušivanje iglica. Niske temperature također mogu usporiti metabolizam biljaka i smanjiti mogućnost za rast. Kombinacija ovih stresnih uvjeta rezultirala je manjim i efikasnijim iglicama koje su bolje prilagođene preživljavanju u tako ekstremnim uvjetima (Vasić i dr. 2014). Rezultati su također pokazali da su iglice ženskih jedinki u prosjeku veće po površini i duže od iglica s muških jedinki. S druge strane iglice muških biljaka bile su prosječno šire, sa širom bazom iglice u odnosu na one sa ženskih biljaka. Općenito gledano veća varijabilnost bila je svojstvena ženskim jedinkama. Slični su rezultati dobiveni i za druge vrste unutar roda *Juniperus* (Vidaković i dr. 2024).

Koeficijenti varijabilnosti morfoloških značajki iglica obične borovice kretali su se u rasponu od 17,04 % za maksimalnu širinu iglice, do 28,52 % za površinu iglice. Ovakva značajna varijabilnost u morfologiji iglica rezultat je prilagodbe morfoloških značajki biljaka lokalnim mikrostanišnim uvjetima, u čemu listovi igraju ključnu ulogu u interakciji biljke s okolinom (Chitwood i dr. 2016).

Značajne razlike utvrđene su i na unutarpopulacijskoj i na međupopulacijskoj razini za sve istraživane morfološke značajke iglica. Unutarpopulacijska varijabilnost bila je veća od međupopulacijske varijabilnosti. Općenito gledano, takav je raspored varijabilnosti prisutan u četinjača (Ballian i dr. 2005; Wahid i dr. 2006; Jasińska i dr. 2014; Poljak i dr. 2020; Tumpa i dr. 2022) te u mnogih drugih drvenastih vrsta, kao što su kruške (Vidaković i dr. 2021, 2022), bademasta vrba (Tumpa i dr. 2022) i javor žestilj (Poljak i dr. 2024).

6. ZAKLJUČCI

Završni rad obuhvaćao je 15 prirodnih populacija obične borovice na području primorske, gorske i kontinentalne Hrvatske. U radu je analizirana morfološka varijabilnost iglica ove vrste kao i razlike u morfologiji iglica između muških i ženskih jedinki, i to na temelju šest morfoloških značajki.

Prosječna dužina iglica bila je 1,30 cm, dok je prosječna širina bila 0,13 cm. Najvarijabilnija značajka bila je površina iglice, s koeficijentom varijabilnosti od 28,52 %, dok je najmanje varijabilna bila maksimalna širina iglice, čiji je koeficijent varijabilnosti iznosio 17,04 %. Osim toga, utvrđeno je da su iglice na ženskim jedinkama u prosjeku duže i s većom površinom, dok su one na muškim jedinkama bile u prosjeku šire i sa širom bazom iglica. Koeficijenti varijabilnosti su za sve značajke bili viši u ženskih jedinki, što znači da su iglice na ženskim biljkama u prosjeku varijabilnije od iglica na muškim biljkama. Promatrajući pojedinačne populacije, najduže i najšire iglice bile su svojstvene populaciji Poreč i ostalim istarskim populacijama, dok je populacija Klek, koja se nalazi na najvišoj nadmorskoj visini od svih istraživanih populacija, bila karakterizirana najmanjim i najkraćim iglicama. Odvajanje navedenih populacija je potvrđeno i analizom glavnih sastavnica.

Značajne razlike po svim mjerenim morfološkim značajkama utvrđene su i na unutarpopulacijskoj i na međupopulacijskoj razini. Unutarpopulacijska varijabilnost bila je veća od međupopulacijske varijabilnosti.

Istraživanjem je utvrđena značajna morfološka raznolikost iglica obične borovice u Hrvatskoj, kao i određena eko-geografska strukturiranost populacija. Ovako velika morfološka varijabilnost vjerojatno je popraćena i značajnom genetičkom raznolikosti populacija, što je veoma važno za opstanak i prilagodbu ove vrste u uvjetima sve izraženijih klimatskih promjena, pogotovo na Mediteranu.

7. LITERATURA

- Adams, R.P., Pandey, R.N., 2003: Analysis of *Juniperus communis* and its varieties based on DNA fingerprinting. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31 (11): 1271–1278.
- Adams, R.P., Padnes, R.N., Leverenz, L.W., Dignar, N., Hoegh, K., Thorfinnsson, T., 2003: Pan-Arctic variation in *Juniperus communis*: historical biogeography based on DNA fingerprinting. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31: 181–192.
- Adams, R. P., Tashev, A. N., Schwarzbach, A. E., 2014: Variation in *Juniperus communis* trees and shrubs from Bulgaria: analyses of nrDNA and cpDNA regions plus leaf essential oil. *Phytologia*, 96 (2): 124–129.
- Ballian, D., Škvorc, Ž., Franjić, J., Kajba, D., Bogdan, S., Bogunić, F., 2005: Procjena nekih morfoloških značajki munjike (*Pinus heldreichii* Christ.) u dijelu areala. *Šumarski List*, 129 (9-10): 475-480.
- Cattell, R.B., 1966: The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1 (2): 245–276.
- Chitwood, D.H., Sinha, N.R., 2016: Evolutionary and environmental forces sculpting leaf development. *Current Biology*, 26: R297-R306.
- Franjić, J., Škvorc, Ž., 2013: Šumsko drveće i grmlje Hrvatske. Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 432 str.
- García, D., Zamora, R., Gómez, J.M., Jordano, P., Hódar, J.A., 2000: Geographical variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* throughout its range in Europe. *Journal of Ecology*, 88: 436-446.
- Hantemirova, E.V., Berkutenko, A.N., Semerikov, V.L., 2012: Systematics and gene geography of *Juniperus communis* L. inferred from isoenzyme data. *Russian Journal of Genetics*, 48: 920–926.
- Hantemirova, E.V., Heinze, B., Knyazeva, S.G., Musaev, A.M., Lascoux, M., Semerikov, V.L., 2017: A new Eurasian phylogeographical paradigm? Limited contribution of southern populations to the recolonization of high latitude populations in *Juniperus communis* L. (Cupressaceae). *Journal of Biogeography*, 44: 271–282.
- Herman, J., 1971: Šumarska dendrologija, Stanbiro, Zagreb, 470 str.
- Idžojtić, M., 2009: Dendrologija - List. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski Fakultet, Zagreb, 901 str.
- Idžojtić, M., 2013: Dendrologija cvijet, češer, plod, sjeme. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski Fakultet, Zagreb, 671 str.
- Jasińska, A.K., Boratyńska, K., Dering, M., Sobierajska, K.I., Ok, T., Romo, A., Boratyński, A., 2014: Distance between south-European and south-west Asiatic refugial areas involved morphological differentiation: *Pinus sylvestris* case study, *Plant Systematics and Evolution*, 300: 1487–1502.
- Knyazeva, S.G., Hantemirova, E.V., 2020: Comparative analysis of genetic and morpho-anatomical variability of common juniper (*Juniperus communis* L.). *Russian Journal of Genetics*, 56: 48–58.
- Leuschner, C., Voß, S., Foetzki, A., Clases, Y., 2006: Variation in leaf area index and stand leaf mass of European beech across gradients of soil acidity and precipitation. *Plant Ecology*, 182: 247–258.

- McGarigal, K., Cushman, S., Stafford, S., 2000: Multivariate statistics for wildlife and ecology research, Springer Verlag, 283 str., New York.
- Poljak, I., Vukelić, J., Vidaković, A., Vuković, M., Idžojtić, M., 2020: Varijabilnost populacija običnoga bora (*Pinus sylvestris* L.) na području sjeverozapadnoga dijela Male Kapele prema morfološkim obilježjima iglica i češera. Šumarski list, 144 (11-12), 539–548.
- Poljak, I., Vidaković, A., Benić, L., Tumpa, K., Idžojtić, M., Šatović, Z. 2024: Patterns of Leaf and Fruit Morphological Variation in Marginal Populations of *Acer tataricum* L. subsp. *tataricum*. Plants, 13: 320.
- Royer, D.L., Meyerson, L.A., Robertson, K.M., Adams, J.M., 2009: Phenotypic plasticity of leaf shape along a temperature gradient in *Acer rubrum*. PLoS ONE, 4 (10): e7653.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1989: Biometry, Freeman and CO, San Francisco.
- StatSoft, Inc. 2001: STATISTICA (data analysis software system), version 8.0.
- Tumpa, K., Liber, Z., Šatović, Z., Medak, J., Idžojtić, M., Vidaković, A., Vukelić, J., Šapić, I., Nikl, P., Poljak, I., 2022: High Level of Phenotypic Differentiation of Common Yew (*Taxus baccata* L.) Populations in the North-Western Part of the Balkan Peninsula. Forests, 13: 78.
- Tumpa, K., Šatović, Z., Vidaković, A., Idžojtić, M., Stipetić, R., Poljak, I., 2022: Population Variability of Almond-Leaved Willow (*Salix triandra* L.) Based on the Leaf Morphometry: Isolation by Distance and Environment Explain Phenotypic Diversity. Forests, 13: 420.
- Vaičiulytė, V., Ložienė, K., 2013: Variation of chemical and morphological characters of leaves and unripe cones in *Juniperus communis*. Botanica Lithuanica, 19 (1): 37–47.
- Vasić, P., Krivošej, Z., Topuzović, M., Dubak, D., Prodanović, D., 2014: Morphological and atomical characteristics of two common junipers (*Juniperus communis* and *Juniperus oxycedrus*) from the area of mountain Kopaonik in Serbia. Agriculture & Forestry, 60 (1): 91–104.
- Vidaković, M., 1993: Četinjače – Morfologija i varijabilnost. Hrvatske šume, Zagreb, 741 str.
- Vidaković, A., Liber, Z., Šatović, Z., Idžojtić, M., Volenec, I., Zegnal, I., Pintar, V., Radunić, M., Poljak, I., 2021: Phenotypic diversity of almond-leaved pear (*Pyrus spinosa* Forssk.) along Eastern Adriatic Coast. Forests, 12: 1630.
- Vidaković, A., Šatović, Z., Tumpa, K., Idžojtić, M., Liber, Z., Pintar, V., Radunić, M., Runjić, T. N., Runjić, M., Rošin, J., Gaunt, D., Poljak, I., 2022: Phenotypic variation in European wild pear (*Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd.) populations in the North-Western part of the Balkan Peninsula. Plants, 11: 335.
- Vidaković, A., Šatović, Z., Tumpa, K., Idžojtić, M., Barišić, A., Poljak, I., 2024: Secondary sexual dimorphism and morphological diversity in two allopatric juniper species: *Juniperus oxycedrus* and *J. deltoides*. Acta Botanica Croatica, 83 (1): 14–25.
- Wahid, N., González-Martínez, S.C., El Hadrami, I., Boulli, A., 2006: Variation of morphological traits in natural populations of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Marocco, Annals of Forest Science, 63: 83–91.
- WinFolia TM, 2001: Regent Instruments Inc., Quebec, Canada, version PRO 2005b.