

Sveučilište u Zagrebu  
Šumarski fakultet

Dario Biondić, Petar Katić, Ivan Brajković

MORFOLOŠKA RAZNOLIKOST RAŠELJKE (*PRUNUS MAHALEB* L.)

U HRVATSKOJ: IZOSTANAK GEOGRAFSKE

STRUKTURIRANOSTI POPULACIJA

Zagreb, 2020.

Ovaj rad izrađen je u Laboratoriju za molekularnu biologiju Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u Zavodu za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku pod vodstvom doc. dr. sc. Igora Poljaka. Rad je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2019./2020.

## SADRŽAJ

UVOD .....	1
Porodica Rosaceae .....	1
Rod <i>Prunus</i> L.....	2
Morfolologija i biologija <i>Prunus mahaleb</i> L.....	2
Prirodna rasprostranjenost i ekologija <i>Prunus mahaleb</i> L. ....	4
Morfometrijska analiza.....	5
OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RADA .....	8
MATERIJAL I METODE.....	9
Biljni materijal i istraživane značajke listova.....	9
Statistička obrada podataka .....	10
REZULTATI.....	12
Deskriptivna statistika .....	12
Korelacijska analiza.....	20
Analiza varijance .....	22
Multivarijatne statističke metode.....	23
Klasterska analiza .....	23
Diskriminantna analiza .....	24
RASPRAVA.....	27
ZAKLJUČCI.....	30
ZAHVALA.....	31
LITERATURA.....	32
SAŽETAK.....	39
SUMMARY .....	40
ŽIVOTOPISI.....	41
PRILOZI.....	42

## UVOD

### Porodica Rosaceae

Ova velika, globalno rasprostranjena i gospodarski važna porodica uglavnom listopadnih, rjeđe vazdazelenih kritosjemenjača obuhvaća preko 3000 vrsta raspoređenih u oko 90 rodova (Potter i sur. 2007). Unutar ove porodice nalazi se većina gospodarski važnih voćnih vrsta umjerenog pojasa, kao što su vrste iz roda *Malus* Mill. (jabuke), *Pyrus* L. (kruške), *Prunus* L. (trešnje, višnje, šljive, breskve, marelice i bademi), *Rubus* L. (maline i kupine) te *Fragaria* L. (jagode). Osim toga, ova porodica obuhvaća i čitav niz ukrasnih vrsta, kao što vrste iz roda *Rosa* L. (ruže), *Potentilla* L. (petoprsta), *Sorbus* L. (oskoruše, jarebike, mukinje, brekinje, mukinjice) i druge. S obzirom na velik broj vrsta obuhvaćen ovom porodicom, ne čudi iznimna raznolikost u načinu rasta, obliku i vrsti plodova te broju kromosoma (Robertson 1974).

Taksonomija ove porodice bila je predmet izučavanja mnogih autora (Hutchinson 1964; Schulze-Menz 1964; Morgan i sur. 1994; Takhtajan 1997; Kalkman 2004; Potter i sur. 2002, 2007), a Potter i sur. (2007) kao najšire prihvaćenu navode podjelu Schulze-Menza (1964), koja je temeljena na vrsti ploda i koja ovu porodicu dijeli na četiri potporodice, a koje su dalje podijeljene na plemena i potplemena. Potporodicu Spiraeoideae karakterizira mjehur (*folliculus*) ili tobolac (*capsula*) kao plod te broj kromosoma 9 (15, 17), Rosoideae roška (*achenium*) te broj kromosoma 7, 8 ili 9, Amygdaloideae (Prunoideae) koštunica (*drupa*) te broj kromosoma 9, dok je za potporodicu Maloideae karakterističan jezgričasti plod ili jabuka (*pomum*) i broj kromosoma 17. Novija istraživanja (Morgan i sur. 1994; Potter i sur. 2002, 2007) ukazuju da je razvoj plodova unutar ove porodice puno kompleksniji te da ovakva podjela koja se većinom temelji na vrsti ploda nije zadovoljavajuća. Naime, prema Potteru i sur. (2007) evolucijski tijek razvoja ploda unutar ove porodice nije jednak i usuglašen među pojedinim karakteristikama ploda, već se jedna ili nekoliko karakteristika razvija neovisno o drugima, što rezultira različitim kombinacijama tih karakteristika u različitim rodova.

## Rod *Prunus* L.

*Prunus* L. je rod drvenastih vrsta unutar porodice Rosaceae. Unutar ovoga roda nalaze se vrste kao što su divlja trešnja (*Prunus avium* (L.) L.), sremza (*P. padus* L.), kasna sremza (*P. serotina* Ehrh.), crni trn (*P. spinosa* L.), šljiva (*P. domestica* L.), breskva (*P. persica* (L.) Batsch), marelica (*P. armeniaca* L.), badem (*P. dulcis* (Mill.) D. A. Webb), mirobalana (*P. cerasifera* Ehrh.) lovorvišnja (*P. laurocerasus* L.) i druge. Vrste roda *Prunus* su po trajnosti listopadne, rjeđe vazdazelene vrste drveća i grmlja (npr. *P. laurocerasus*). Lišće je jednostavno i naizmjeničnog rasporeda. Na biljkama se često nalaze stabljike preobražene u trnove koji služe kao obrane od biljojeda. Cvjetovi su dvospolni, veliki, uresni i mirisni. Cvjetišta su vrčasto (hipantij) te iz njega biljka luči nektar. Plod je jednosjemena koštunica. Izgrađena od jednog plodnog lista. Usplode je izvana sočno ili kožasto, a iznutra drvenasto.

## Morfologija i biologija *Prunus mahaleb* L.

*Prunus mahaleb* L., rašeljka, je do 10 m visoko stablo, širine debla do 30 cm (Slika 1). Na lošijim staništima raste u obliku grma (Herman 1971). Rašeljka ima većinom jako razgranato deblo s rijetkom i širokom krošnjom. Kora starijih stabala je tamnosmeđe boje i prekrivena je vodoravno orijentiranim lenticelama (Slika 2). U starijih stabala, kora ima ravne uzdužne pukotine na pridanku debla (Slika 2). Vrsta ima plitak i razgranat korijenski sustav.

U sustavu grana razlikuju se dugi i kratki izbojci. U početku razvoja, izbojci su pomalo ljepljivi, zeleni i u gornjem dijelu prekriveni kratkim, gustim i bijelim dlakama. S vremenom izbojci postaju goli i svijetlosmeđe boje (Bartha 1999). Odlupljujuća epiderma je sive boje, a kora ispod nje maslinastozelena do crvenkastosmeđa. Blizu vrha izbojka nalaze se upečatljive bjelkaste lenticеле. Kratki izbojci su koso otklonjeni od izbojka na kojima se nalaze gusto raspoređeni cvjetni pupovi. Ljuske fino dlakavih pupova su svijetlosmeđe boje.

Lišće je široko okruglasto do široko jajasto u naizmjeničnom rasporedu na dugim i kratkim izbojcima (Slika 3). Često su na gornjoj trećini najširi, a dugi su od 4 do 8 cm. Listovi su plitko srcaste do zaobljene osnove, okruglastog do šiljastog vrha, fino, žljezdasto napiljenog ruba. Odozgo su tamnozeleni, glatki i goli, dok se na donjoj strani lista, uzduž srednje žile u početku nalaze dlake, a kasnije su goli. Nervatura lista je perasto mrežasta, srednja žila je odozdo izražena. Duljina peteljke je 1 do 2 cm te na dugim izbojcima sa jednom do dvije žljezdane dlake u razini osnove (Herman 1971; Bartha 1999; Idžojić 2009).



**Slika 1.** *Prunus mahaleb* L. - habitus.



**Slika 2.** *Prunus mahaleb* L. - kora.



**Slika 3.** *Prunus mahaleb* L. - listovi.



**Slika 4.** *Prunus mahaleb* L. - cvjetovi (Igor Poljak).



**Slika 5.** *Prunus mahaleb* L. - plodovi (Igor Poljak).

Cvjetovi su dvospolni, entomofilni, uresni, oko 1,5 cm široki i mirisni (Slika 4). Na dugačkim izbojcima imaju zvonastu čašicu (*hypanthium*) i pet duguljasto jajastih, 5-8 mm dugih i raširenih latica. Prašnika ima 20-25, dugački su kao latice, a prašničke niti su bijele, dok su prašnice žute boje. Ginecej je građen od jednog plodnog lista, plodnica je podrasla, a vrat je jednako dugačak kao i prašnici. Njuška je glavičasta. Cvjetanje je za vrijeme listanja, od kraja travnja i početkom svibnja (Bartha 1999). Forma cvijeta je \* K5 C 5 A20 G - 1-.

Plodovi su ornitohorne, kuglasto jajaste, na osnovi malo udubljene, do 1 cm velike jednosjemene koštunice (Slika 5). Za vrijeme dozrijevanja su zelene, crvene i ljubičaste boje, dok su zrele crne, gole i sjajne. Mezokarp unutar ploda je tanak i gorak i ne odvaja od endokarpa (koštice). Koštica je elipsoidna do jajasta, na oba kraja sužena i šiljasta, glatke konzistencije i bjelkastosmeđe boje (Herman 1971; Šilić 1983, 2005; Bartha 1999; Idžojić 2013; Popescu i Caudullo 2016). Unutar koštice nalazi se jedna otrovna sjemenka. Apsolutna težina sjemena je 90 g. Dozrijevanje plodova je u lipnju i srpnju.

### Prirodna rasprostranjenost i ekologija *Prunus mahaleb* L.

Područje rasprostranjenosti rašeljke nalazi se na južnim i zapadnim dijelovima Europe i južnim dijelovima zapadne Azije (Bartha 1999; Popescu i Caudullo 2016). Areal prolazi sjeverno od doline Dunava s granicom na planinskom predjelu Južne Slovačke i Sjeverne Transilvanije. Prostire se čak do Turkmenistana preko Kavkaza. U Aziji nema točno definirane granice areala, u gorju Atlas se pojavljuje sporadično.

U Hrvatskoj raste duž obale u eumediteranskoj i submediteranskoj zoni. Dolazi u sjeverozapadnoj Hrvatskoj u Istri, duž obale i na otocima sve do Cavtata na jugoistoku.

Kao vrsta otvorenih staništa, rašeljka se ne pojavljuje u sklopljenim šumskim sastojinama (Vukelić 2012). Uglavnom raste u grmovitim sastojinama, garizima, na rubovima šuma na vapnenačkoj podlozi te u hrastovim termofilnim šuma. Posebno su karakteristične popratne vrste: *Quercus pubescens* Willd., *Amelanchier ovalis* Medik., *Berberis vulgaris* L., *Cornus mas* L., *Ligustrum vulgare* L., *Viburnum lantana* L., *Euonymus verrucosus* Scop. i u eumediteranu *Pistacia lentiscus* L., *Lonicera etrusca* Santi i *Cotinus coggygria* Scop.

## Morfometrijska analiza

Morfometrijska analiza je postupak analize značajki, u ovome slučaju lista, i njihovo prikazivanje preko standardnih deskriptivnih statističkih parametara (Sokal i Rohlf 2012), kao što su: aritmetička sredina, mod, medijana, raspon (minimalna i maksimalna vrijednost), standardna devijacija i koeficijent varijabilnosti. Morfometrija je od iznimne važnosti u biologiji, poglavito taksonomiji, jer je stoljećima bila središnji element usporedbe anatomskih značajki organizama kao i njihove nomenklature. Danas poznajemo dvije vrste morfometrije, tzv. tradicionalnu i geometrijsku.

Morfometrija se može definirati kao kvantitativna analiza bioloških oblika. Tradicionalno rečeno, morfometrija je primjena multivarijatnih statističkih analiza na skupove kvantitativnih varijabla poput dužine, širine i visine. Područje morfometrije bavi se metodama za opis i statističku analizu varijacija oblika unutar i među uzorcima organizama i analizom promjena oblika kao posljedica rasta ili evolucije. Nalazi široku primjenu u različitim disciplinama, uključujući botaniku, zoologiju, taksonomiju, medicinu, paleontologiju, agronomiju i dr. Ovo područje se intenzivno razvijalo tijekom posljednjih 20 godina, tako da danas postoje tzv. tradicionalna morfometrija i "nova", geometrijska morfometrija.

U 1960-ima i 1970-ima biometričari su počeli koristiti niz multivarijatnih statističkih alata kako bi opisali obrasce promjene oblika unutar i među skupinama. Ovaj pristup, koji se danas naziva tradicionalnom morfometrijom ili multivarijatnom morfometrijom, sastojao se od primjene multivarijatnih statističkih analiza na skupove morfoloških varijabla. Obično su korištena linearna mjerenja udaljenosti, ali ponekad su uključeni i brojevi, omjeri i kutovi. Ovim pristupima kvantificirana je kovarijacija u morfološkim mjerenjima i mogli su se procijeniti obrasci varijacije unutar i među uzorcima. Rezultati su uglavnom izraženi numerički i grafički u smislu linearnih kombinacija izmjerenih varijabla. Statističke analize obično uključuju analizu glavnih sastavnica, faktorsku analizu i diskriminantnu analizu.

Ona je doživjela procvat od 70-tih do 90-tih godina prošloga stoljeća, prije svega zahvaljujući razvoju elektroničkih računala, što je pojednostavilo primjenu multivarijatnih statističkih metoda na velikom broju varijabla. Nedostatak ovoga pristupa je visoka korelacija linearnih varijabla s veličinom. Osim toga, homolognost linearnih udaljenosti bilo je teško procijeniti, jer mnoge udaljenosti (npr. maksimalna širina) nisu definirane homolognim točkama. Nadalje, isti niz mjera udaljenosti mogao bi se dobiti iz dva različita oblika, jer mjesto gdje su udaljenosti izvedene jedna prema drugoj nije uključen u podatke. Na primjer, ako bi se mjerila maksimalna dužina i maksimalna širina na određenim



predmetima, oba bi predmeta mogla imati iste vrijednosti visine i širine, ali se mogu jasno razlikovati u obliku. Obično nije bilo moguće generirati grafičke prikaze oblika s linearnih udaljenosti, jer nisu sačuvani geometrijski odnosi među varijablama (skup linearnih udaljenosti obično nije dovoljan da obuhvati geometriju izvornog objekta). Time su izgubljene neke karakteristike oblika.

Tijekom godina uloženi su naponi u razvijanje metoda za korekciju veličine, tako da se varijable oblika bez veličine mogu izvući, a obrasci promjene oblika objasniti. Upravo je u naporima za rješavanje ovoga problema i nastala tzv. geometrijska morfometrija. Krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina došlo je do promjene u načinu kvantificiranja morfoloških struktura i analiziranju podataka. Taj je pomak naglasio metode koje su obuhvatile geometriju morfoloških struktura koje su nas zanimale i sačuvale ove podatke tijekom analiza. Godine 1993. ovaj novi pristup nazvan je "geometrijska morfometrija" i predstavlja "revoluciju u morfometriji", a ona uključuje analize obrisa (kontura) i analize značajnih (karakterističnih) točaka.

Tradicionalna morfometrija se u dendrologiji najčešće koristi za ispitivanje morfološke varijabilnosti populacija neke vrste na određenom području (Idžojić i sur. 2006; Zebec i sur. 2010; Poljak i sur. 2014, 2015, 2018). Na temelju dobivenih informacija mogu se donositi zaključci o unutarpopulacijskoj i međupopulacijskoj varijabilnosti, o međusobnoj zavisnosti pojedinih morfoloških varijabla, o tome postoji li neki specifičan gradijent, odnosno promjena varijabilnosti s obzirom na neki abiotski čimbenik i sl.

Istraživanja unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti na temelju morfoloških značajka listova na vrstama ekološki i biološki sličnim rašeljki provodili su mnogi autori: Wójcicki i Marhold 1993; Rakonjac i sur. 1996; Frasendo-Ramírez i sur. 2011; Nikoumanesh i sur. 2011; Čolić i sur. 2012; Mijnsbrugge i sur. 2013; Khadivi-Khub i Anjam 2014; Krichen i sur. 2014; Rakonjac i sur. 2014; Norouzi i sur. 2017; Wani i sur. 2017; Guzmán i sur. 2018; Moradi i sur. 2020.

Istraživanja morfološke varijabilnosti biljaka na plantažnom uzgoju, uglavnom ekonomski važnih vrsta kao što su bademi i trešnje, provode: Lacis i sur. 2009; Hamzaoui i sur. 2014; Khadivi-Khub i Etamadi-Khan 2015; Farsad i Esna-Ashari 2016; Bakić i sur. 2017; Norouzi i sur. 2017.

Primjere korištenja tradicionalne morfometrije za utvrđivanje varijabilnosti populacija na temelju morfoloških značajka plodova u vrsta srodnih rašeljki daju sljedeći autori: Frasendo-Ramírez i sur. 2011; Li i sur. 2013; Ballian i Mujagić-Pašić 2013; Krichen i sur. 2014; Raji i sur. 2014; Wani i sur. 2017; Guzmán i sur. 2018; Moradi i sur. 2020.

Budući da genetička, a time djelomično i morfološka varijabilnost uvelike ovise o načinu oprašivanja i širenja sjemena neke vrste, u nastavku će biti navedena neka od istraživanja morfološke varijabilnosti na vrstama iz drugih porodica i rodova, a koje kao i rašeljku, šire ptice (ornitohorija). Rod *Morus* L. (Moraceae) jedan je od takvih rodova i bio je predmet istraživanja nekoliko autora, koji su na temelju morfoloških značajki listova *ex situ* (Peris i sur. 2014) te listova i plodova *in situ* (Hashemi i Khadivi 2020) dokazali značajne razlike između populacija. Varijabilnost stabala bijeloga duda (*Morus alba* L.) u urbanoj sredini u Poljskoj proučavali su Katchel i sur. (2017).

Ekhvaia i Akhalkatsi (2010) provode istraživanje na divljim populacijama vinove loze (*Vitis vinifera* L. subsp. *sylvestris* (C.C. Gmel.) Hegi) u Gruziji, koje je pokazalo značajne razlike između većine populacija, što pripisuju velikom genskom skupu. Statistički značajne razlike na temelju morfologije cvijeta, lista i ploda dobili su i Khadivi-Khub i sur. (2015) među prirodnim populacijama jednoplodničkog gloga (*Crataegus monogyna* Jacq.) u Iranu. Osim toga, Khadivi i sur. (2019) koriste morfologiju lista, ploda i sjemena za dokazivanje razlika između jednoplodničkog (*Crataegus monogyna* Jacq.) i običnog crnog gloga (*C. pentagyna* Waldst. Et Kit. Ex Willd), također u Iranu.

Rod *Sorbus* L. sensu latissimo sadržava nekoliko vrsta plemenitih listača čije sjeme raznose ptice i bio je predmet mnogih morfoloških istraživanja. Tako Poljak i sur. (2015) dokazuju značajne razlike između i unutar hrvatskih populacija oskoruše (*Sorbus domestica* L.) na osnovu morfologije listova, kao i jasnu diferencijaciju između kontinentalnih i mediteranskih populacija. Oskorušu na području Balkanskog poluotoka istražuju i Mikić i sur. (2008), na temelju morfologije plodova te Brus i sur. (2011), koji na temelju morfoloških značajki liski također donose zaključak o visokoj među- i unutar-populacijskoj varijabilnosti. Prema Bednorzu (2006, 2007), značajne razlike među populacijama zabilježene su i u brekinje (*Sorbus torminalis* /L./ Crantz) u Poljskoj. Izvan Europe, visoku varijabilnost među prirodnim populacijama vrste iz roda *Sorbus* dokazuju Kim i sur. (2019) za *Sorbus alnifolia* (Sieb. Et Zucc.) K. Koch.

## OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RADA

Rašeljka je naša autohtona vrsta koja s gospodarskog stajališta nije značajna. Ipak, vrsta je koja doprinosi biološkoj raznolikosti i populacije ove vrste imaju prirodnoznatveni značaj. U Hrvatskoj do sada nije bilo istraživanja raznolikosti populacija rašeljke, a glavni ciljevi ovoga rada bili su: (A) utvrditi unutarpopulacijsku i međupopulacijsku varijabilnost rašeljke u Hrvatskoj; i (B) testirati postoji li specifičan gradijent, odnosno promjena u morfološkoj varijabilnosti s obzirom na promjenu geografskih i okolišnih varijabla.

## MATERIJAL I METODE

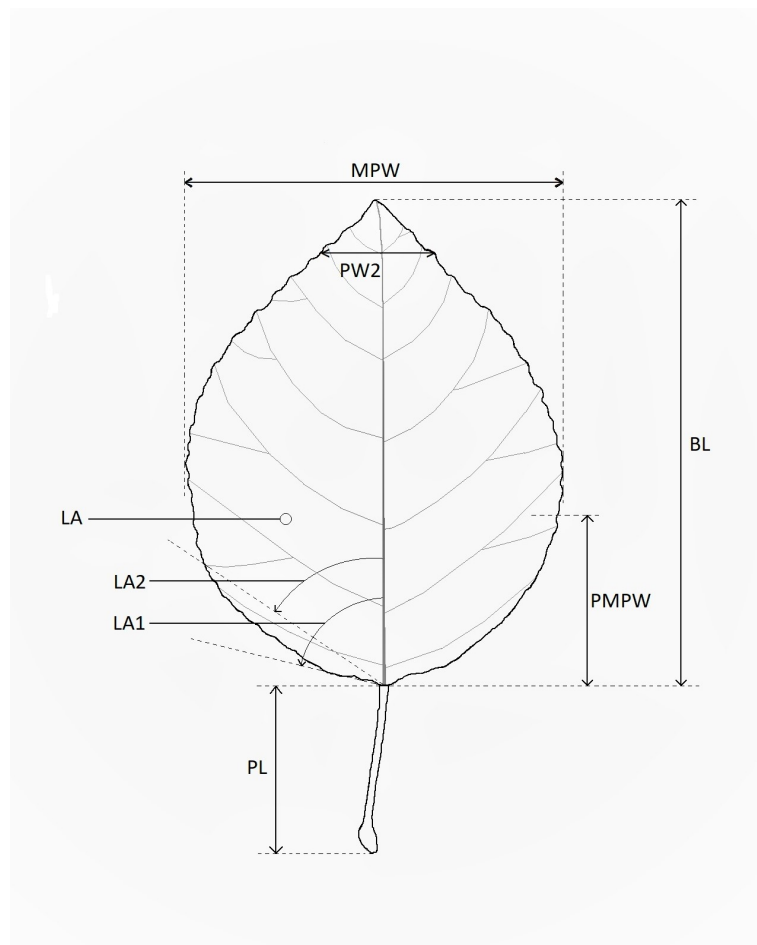
### Biljni materijal i istraživane značajke listova

Materijal za morfometrijsku analizu skupljen je u devet prirodnih populacija na području Cresa, Donje Klade, Grobnika, Klisa, Oštrovica, Otoka (kraj Sinja), Piska, Senja i Stolca (Tablica 1). Svaka populacija je predstavljena sa 10 različitih jedinki, sa kojih se uzimalo po 20 zdravih i neoštećenih listova s kratkih fertilnih izbojaka iz vanjskog, osvjetljenog dijela krošnje. Listovi su sakupljeni sredinom vegetacijskog razdoblja, kada su s obzirom na dimenzije, potpuno razvijeni.

**Tablica 1.** Koordinate i klimatske značajke istraživanih populacija.

R.B.	Populacija	Long.	Lat.	bio_1	bio_3	bio_4	bio_7	bio_8	bio_14	bio_15
1.	Cres	14,34547	44,89595	13,2	25,0	672,8	24,1	9,8	51,0	29,6
2.	Donja Klada	14,89114	44,80738	13,4	28,2	670,5	24,9	13,9	47,0	32,3
3.	Grobnik	14,53466	45,37582	11,5	32,5	680,4	26,9	7,6	82,0	25,0
4.	Klis	16,52879	43,55774	14,6	29,3	723,9	27,9	10,6	35,0	27,9
5.	Oštrovica	14,58553	45,29803	13,3	30,2	661,2	24,8	13,9	68,0	28,8
6.	Otok	16,74192	43,69285	13,1	35,7	726,2	31,1	8,8	45,0	25,5
7.	Pisak	16,86688	43,40159	14,5	28,2	626,9	23,5	11,8	35,0	29,9
8.	Senj	14,91957	44,98788	13,1	29,9	691,0	26,7	13,5	53,0	31,0
9.	Stolac	14,98423	44,94147	8,2	32,5	643,9	25,0	4,9	72,0	25,6

U Zagrebu, na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu skenirani su listovi skenerom MICROTEK ScanMaker 4800, pomoću računalnog programa WinFOLIA, napravljenog posebno za vršenje preciznih morfoloških mjerenja lista. 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. Ukupno je izmjereno i određeno deset značajka listova (Slika 6): površina plojke (LA); opseg lista (P); koeficijent oblika (FC); dužina plojke (BL); maksimalna širina plojke (MPW); dužina plojke, mjerena od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke (PMPW); širina plojke mjerena na 90 % dužine plojke (PW2); kut koji zatvaraju glavna lisna žila i točku na rubu lista, koja se nalazi na 10 % dužine plojke (LA1); kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac koji prolazi kroz osnovu plojke i točku na rubu lista, koja se nalazi na 25 % dužine plojke (LA2); i dužina peteljke (PL).



**Slika 6.** Mjerene značajke lista.

## Statistička obrada podataka

Kako bi se utvrdila varijabilnost populacija rašeljke u Hrvatskoj na temelju morfometrijske analize pristupilo se statističkoj obradi podataka. Statistička obrada podataka obavljena je pomoću statističkog programa STATISTICA 8.0 (StatSoft, Inc. 2001). Sve korištene metode provedene su korištenjem standardnih algoritama (Conover 1980; Everitt 1981; Sokal i Rohlf 1989; Sharma 1996; Legendre i Legendre 1998).

Trend izmjerenih morfoloških značajka listova rašeljke u ovome istraživanju opisan je putem deskriptivnih statističkih pokazatelja, pri čijem su izračunu korišteni standardni algoritmi deskriptivne statističke analize (Sokal i Rohlf 2012). Podaci su prikazani sljedećim procjeniteljima: aritmetička sredina, standardna devijacija i koeficijent varijabilnosti.

U ovome radu ispitana je međusobna povezanost između mjerenih varijabla listova, zatim između mjerenih varijabla listova i geografske dužine i širine, kao i između morfoloških i ekoloških značajka. Za potrebe korelacijske analize od ukupno 19 bio-klimatskih varijabla preuzetih iz WorldClim baze podataka (Prilog 1; Hijmans i sur. 2005), Spearmanovim

koeficijentom korelacije izdvojeno je sedam ( $r > 0,85$ ) koje su korištene u daljnjoj analizi (Tablica 1): prosječna godišnja temperatura (BIO1); izotermija (BIO3); temperaturna sezonalnost (BIO4); godišnji raspon temperatura (BIO7); srednja temperatura najvlažnijeg kvartala (BIO8); količina padalina najsušeg mjeseca (BIO14); i sezonska količina padalina (BIO15).

Za utvrđivanje unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti korištena je analiza varijance (ANOVA). Analiza varijance je statistička metoda kojom se određuje ukupna varijabilnost i raščlanjuje na njene sastavnice. Ovom metodom ukupna varijanca se raščlanjuje na varijancu između prosječnih vrijednosti skupina i na varijancu unutar samih skupina (Sokal i Rohlf 2012). Kako bi se utvrdila zastupljenost pojedinih slučajeva varijabilnosti u ukupnoj varijanci (između populacija, između jedinki unutar populacije) korištena je REML metoda (*Restricted Maximum Likelihood Method*).

Kako bi se dodatno pojasnio trend variranja populacija korištene su multivarijatne statističke metode. U ovome radu korištene su sljedeće metode: hijerarhijska klasterijska analiza i diskriminantna analiza. Ulazni podatci u multivarijatnim statističkim metodama prethodno su standardizirani *z-score* metodom.

Klasterijska analiza je skupina multivarijatnih tehnika čiji je primarni cilj klasificiranje ili klasteriranje opažaja u skupine, grupe ili klustere (Sharma 1996). U ovom radu je korištena hijerarhijska metoda udruživanja objekata (*joining*), odnosno algoritam izrade stabla (*tree clustering algorithm*). Svrha navedenog algoritma udruživanje je neklasificiranih objekata u *klustere*, pomoću nekih mjera sličnosti ili različitosti objekata, a kao krajnji rezultata dobivamo horizontalno hijerarhijsko stablo, odnosno dendrogram. Udaljenosti povezivanja između istraživanih objekata definirane su Euklidovom udaljenosti. Za udruživanje klastera korištene su sljedeće metode: (1) metoda centroida (Unweighted Pair-Group Centroid /UPGMC/ i Weighted Pair-Group Centroid /WPGMC/); (2) pojedinačna vezanost ili metoda najbližeg susjeda (Single Linkage, Nearest Neighbor Method); (3) potpuna vezanost ili metoda najdaljeg susjeda (Complete Linkage, Farthest Neighbor Method); (4) prosječna vezanost (Average Linkage - Unweighted Pair-Group Average /UPGMA/ i Weighted Pair-Group Average /WPGMA/); (5) Wardova metoda (Ward's Method).

Diskriminantna analiza korištena je za određivanje morfoloških značajka koje najbolje razlikuju devet istraživanih populacija rašeljke na području Hrvatske. Diskriminacijske funkcije dobivene su pomoću kanoničke analize.

## REZULTATI

### Deskriptivna statistika

Rezultati deskriptivne statističke analize prikazani su *Box & Whiskers* dijagramima na slikama 8-17, koji prikazuju svaku mjerenu morfološku značajku posebno. Za svaku od mjerenih značajka prikazana je aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije. Osim toga, na Slici 7 prikazani su koeficijenti varijabilnosti po populacijama i značajkama, a u Prilogu 2 deskriptivni statistički parametri za sve populacije zajedno (N=90). U nastavku su rezultati opisani putem navedenih parametara, a prikaz je dan po varijablama.

#### Površina plojke (LA)

Prosječna površina plojke za devet istraživanih populacija rašeljke iznosi 4,14 cm<sup>2</sup>. Najveća varijabilnost ove značajke prisutna je u populacije prikupljene u okolici Senja, a najmanja u populacije prikupljena na području Piska. S ukupnim koeficijentom varijacije od 37,47 %, ovo je druga najvarijabilnija značajka.

#### Opseg lista (P)

Prosječno najveći opseg lista imala je populacija Otok (9,77 cm), dok je on najmanji bio u populacije Pisak (6,50 cm). Prosječan opseg lista svih populacija iznosio je 7,63 cm. Koeficijent varijacije za ovu značajku kretao se od 13,21 % za populaciju Pisak, do 18,64 % za populaciju Senj. Prosječan koeficijent varijacije za ovu značajku za sve analizirane populacije iznosio je 20,11 %.

#### Koeficijent oblika (FC)

Od svih populacija obuhvaćenih ovim istraživanjem, najmanji koeficijent oblika imala je populacija Otok (0,83), a najveći populacija Cres (0,96). Prosječna vrijednost na razini svih populacija za ovu značajku iznosila je 0,88. Koeficijent varijacije kretao se od 9,30 % za populaciju Otok, do 13,70 % za populaciju Grobnik.

#### Dužina plojke (BL)

Prosječna dužina plojke u ukupnom uzorku iznosila je 2,75 cm, a ukupni CV 14,79 %. Prosječno veće vrijednosti za dužinu plojke svojstvene su populacijama Otok, Klis, Senj i Donja Klada, a prosječno najmanje populaciji Pisak. Koeficijenti varijabilnosti za dužinu plojke se kreću u rasponu od 3,66 % do 16,98 %.

#### Maksimalna širina plojke (MPW)

Od devet analiziranih populacija, prosječno najširu plojku ima populacija Otok, dok su najuži listovi svojstveni populaciji Pisak. Prosječna širina listova za sve analizirane populacije je 2,05 cm s koeficijentom varijabilnosti 15,34 %. Prosječne vrijednosti koeficijenta varijabilnosti za ovu značajku kreću se od 11,88 % (Pisak) do 19,90 % (Senj).

#### Udaljenost od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke (PMPW)

Prosječno najvećom varijabilnošću ove značajke odlikuje se populacija Grobnik (CV=24,72 %), a najmanjom populacija Klis (CV=17,54 %). Prosječna udaljenost od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke za sve populacije zajedno iznosi 1,14 cm, s koeficijentom varijabilnosti 21,16 %. S najmanjom vrijednosti udaljenosti plojke do mjesta najveće širine plojke izdvajaju se populacije Cres i Pisak s vrijednošću od 1,00 cm, dok s najvećom vrijednošću populacija Otok, s 1,46 cm.

#### Širina plojke mjerena na 90 % dužine plojke (PW2)

Prosječna širina plojke mjerena na 90 % ukupne dužine plojke iznosi 0,46 cm, s prosječnom varijabilnosti 41,43 %, što ju čini značajkom s najvišim stupnjem varijabilnosti. Prosječno najširi listovi na 90 % dužine plojke svojstveni su populacijama Senj i Donja Klada. Najmanja varijabilnost iznosi 33,56 % u populacije Donja Klada, a najveća varijabilnost 46,60 %, u populacije Oštrovica.

#### Kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, koja se nalazi na 10 % dužine plojke (LA1)

Prosječno najveći kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista zabilježen je u populacije Cres (LA1=69,88°), a najmanji u populacije Pisak (LA1=65,82°). Prosječna varijabilnost za ovu značajku je 5,83 %, što ju čini najmanje varijabilnom značajkom.

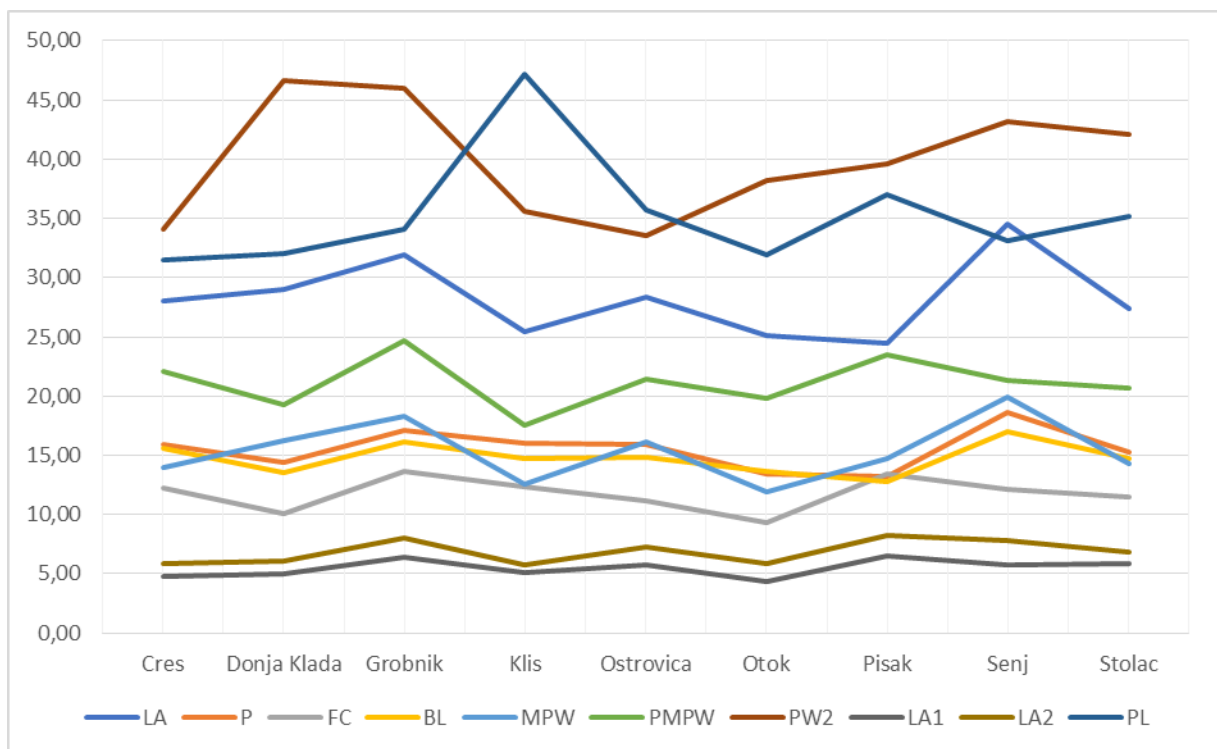


Kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista koja se nalazi na 25 % dužine plojke (LA2)

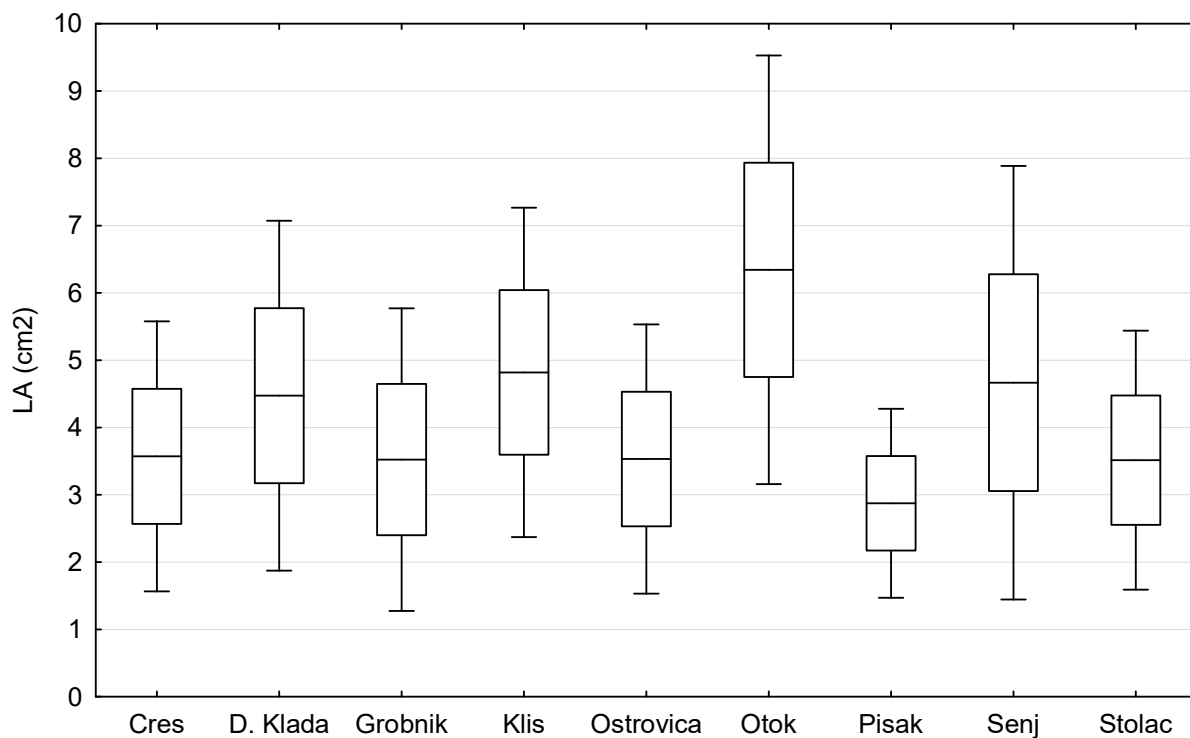
Prosječni kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, na 25 % dužine plojke iznosi 52,57°, s koeficijentom varijabilnosti od 6,84 %, što ovu značajku također čini slabo varijabilnom. Najveća varijabilnost iznosi 8,19 % u populacije Pisak, a najmanja 5,78 % u populacije Klis. Najveći kut je izmjeren u populacije Cres (LA2=55,36°), a najmanji u populacije Pisak (LA2=50,66°).

### Dužina peteljke (PL)

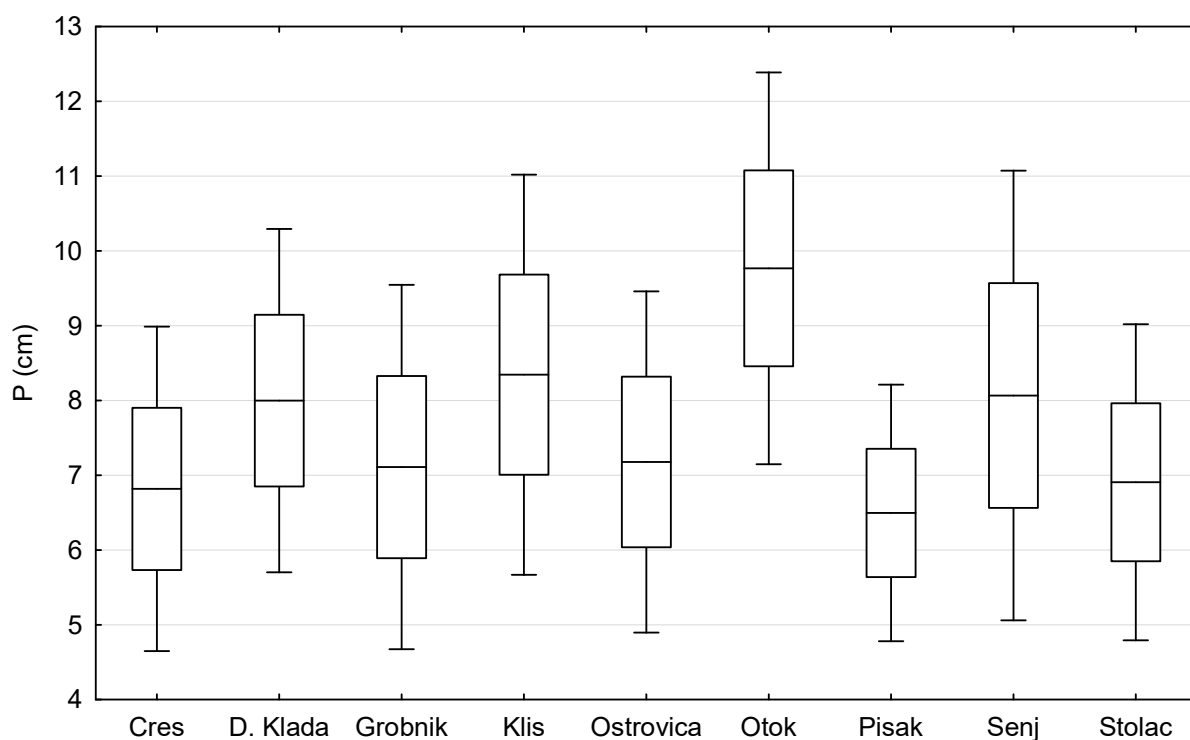
Prosječna dužina peteljke u ukupnom uzorku iznosi 1,43 cm, s ukupnim koeficijentom varijabilnosti 36,75 %, što ju čini trećom najvarijabilnijom značajkom. Najmanje varijabilna populacija za ovu značajku je populacija Otok s 31,28 %, dok najveću varijabilnost ima populacija Klis, s 47,17 %, što je ujedno i najveća izmjerena unutarpopulacijska varijabilnost za neku od mjerenih značajki na ovom uzorku.



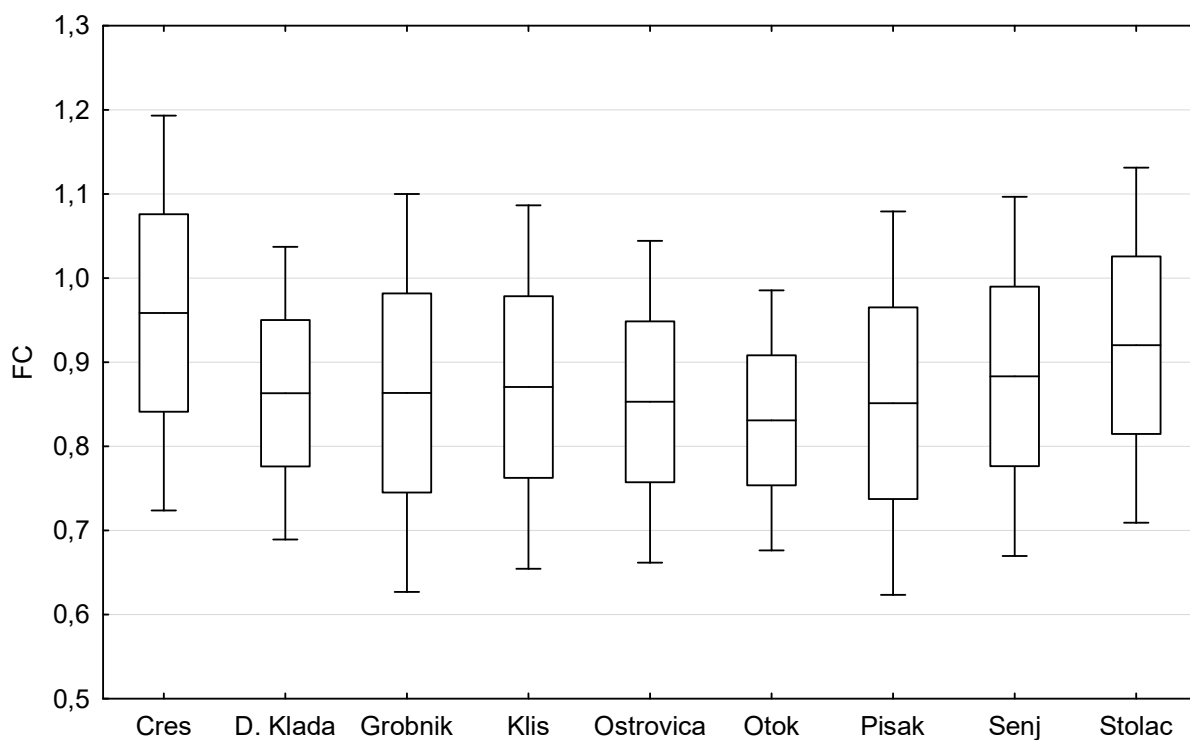
Slika 7. Koeficijenti varijabilnosti.



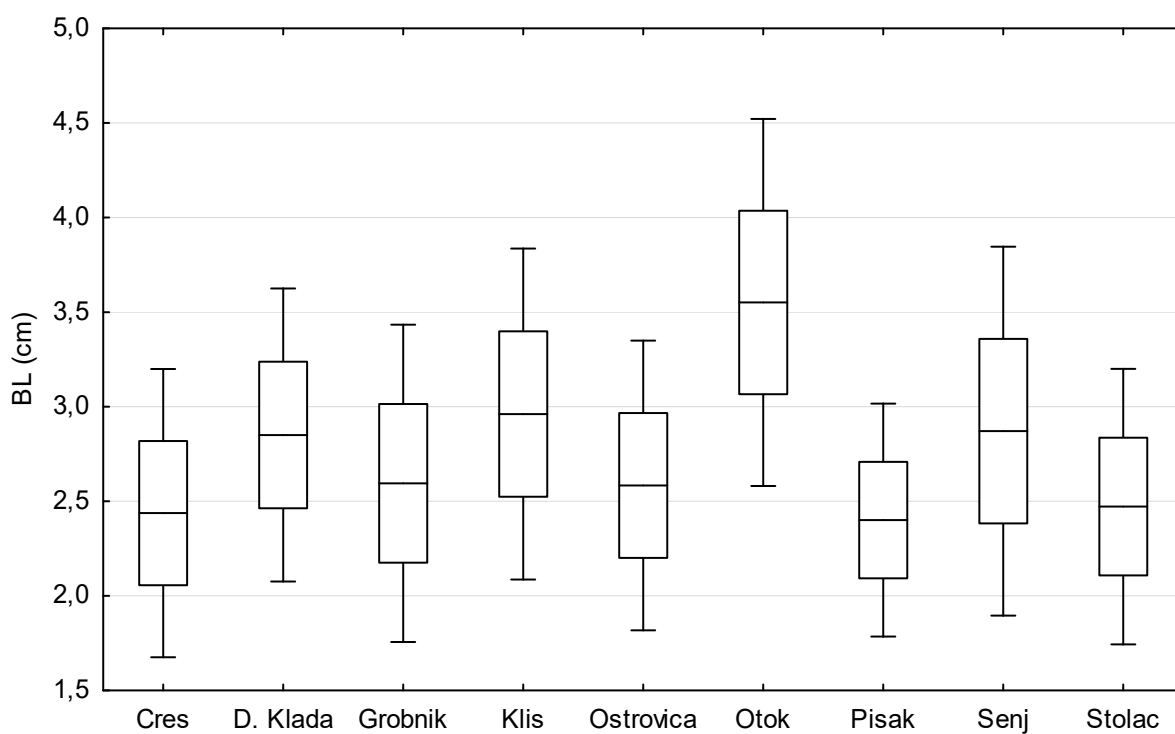
**Slika 8.** Osnovni statistički parametri za površinu lista (LA) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* - aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije.



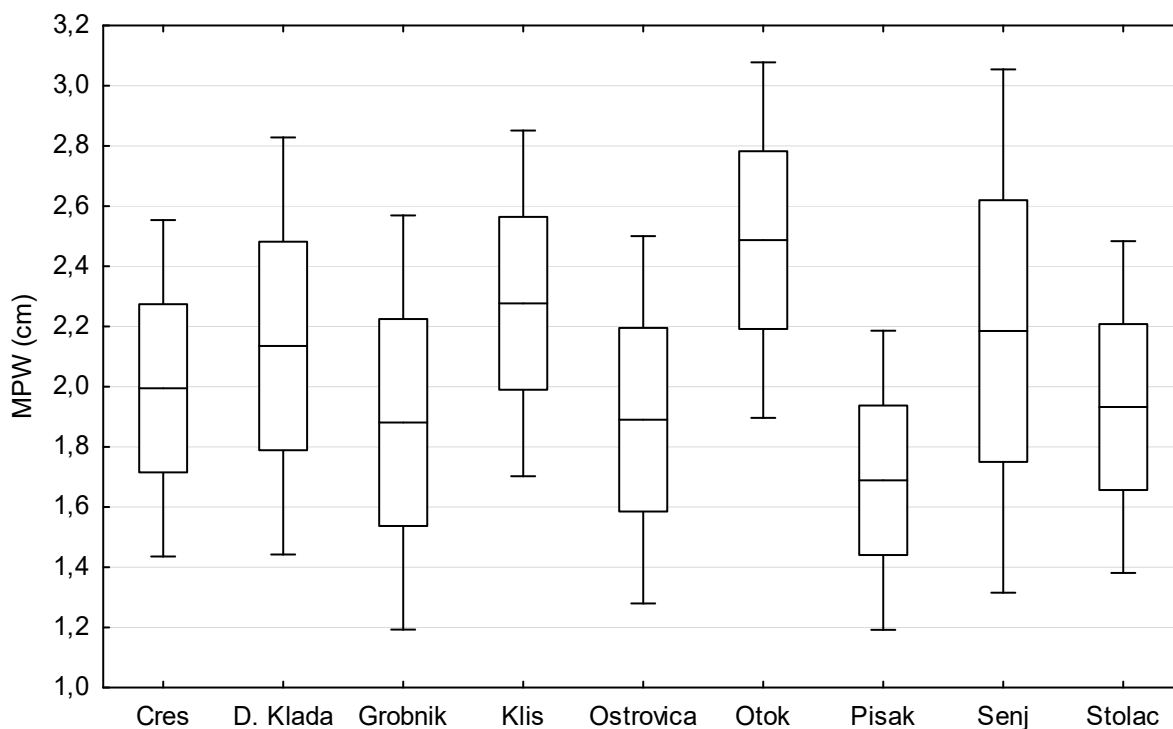
**Slika 9.** Osnovni statistički parametri za opseg lista (P) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* - aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije.



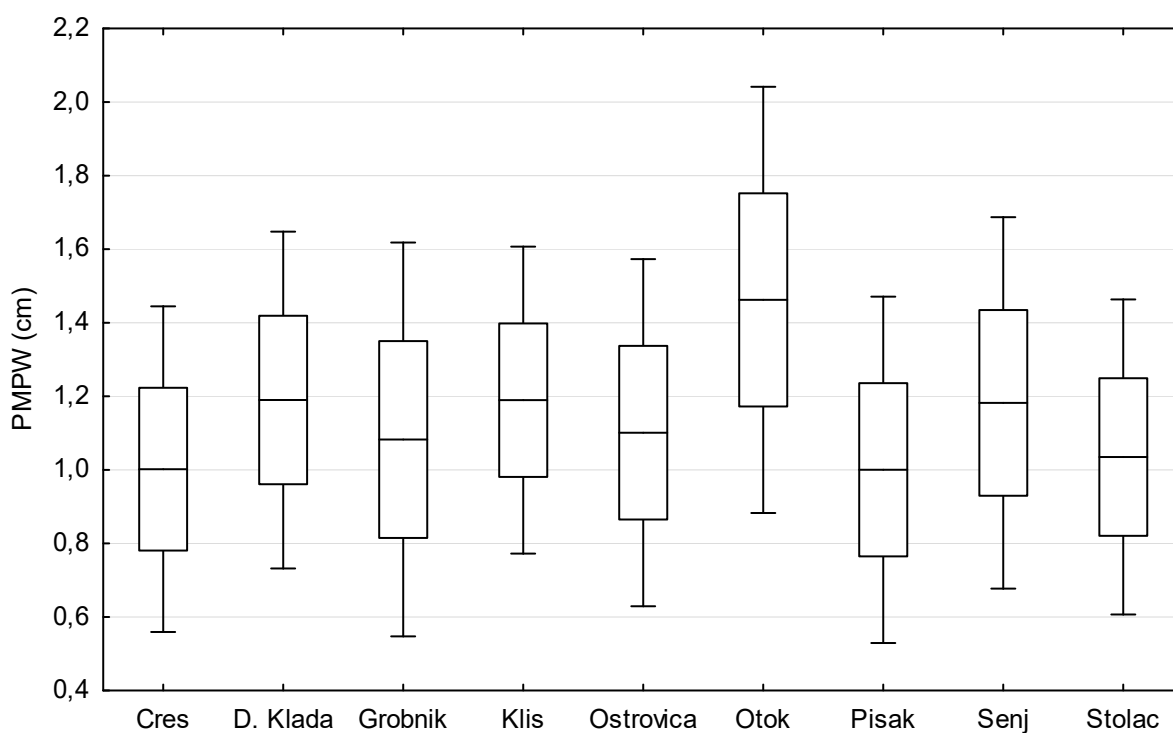
**Slika 10.** Osnovni statistički parametri za koeficijent oblika (FC) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* - aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije.



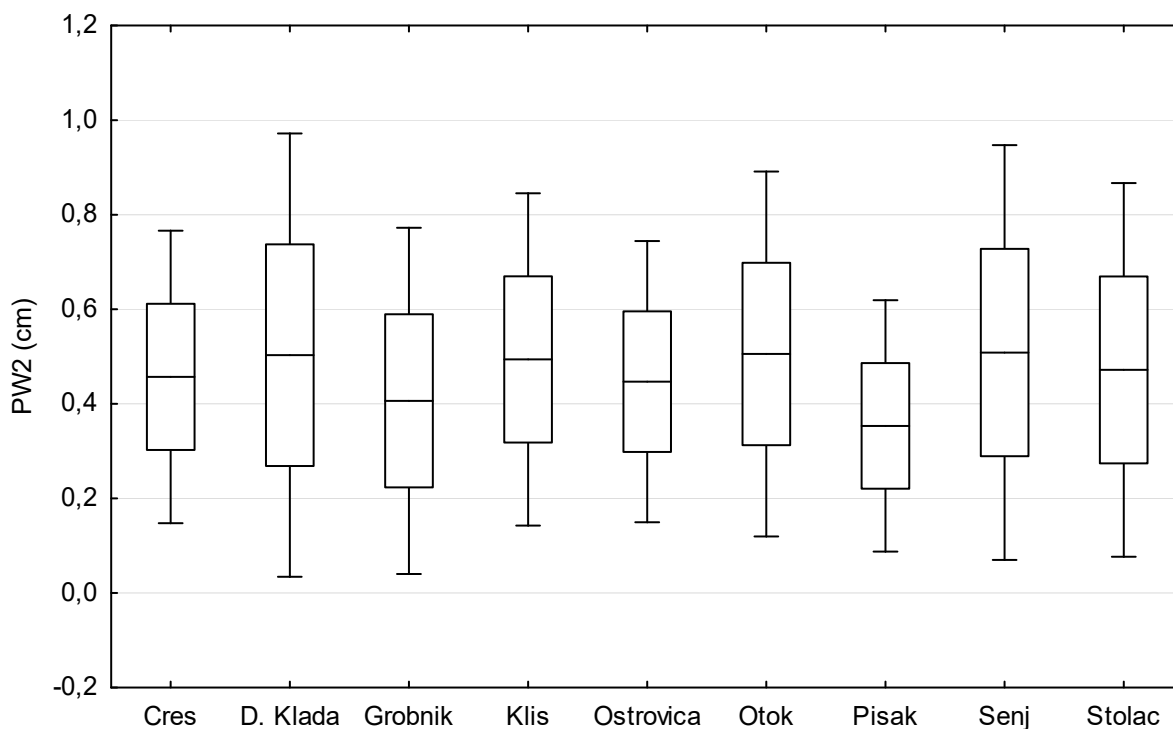
**Slika 11.** Osnovni statistički parametri za dužinu lista (BL) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* - aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije.



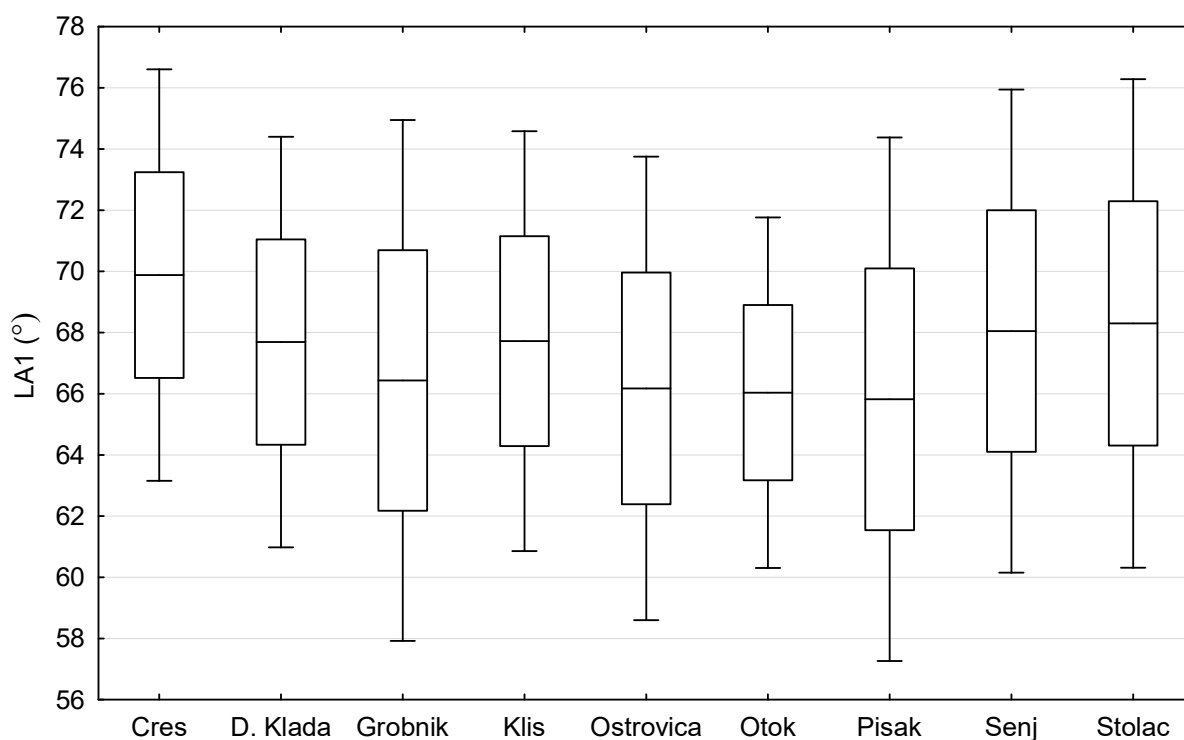
**Slika 12.** Osnovni statistički parametri za maksimalnu širinu lista (MPW) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* – aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije.



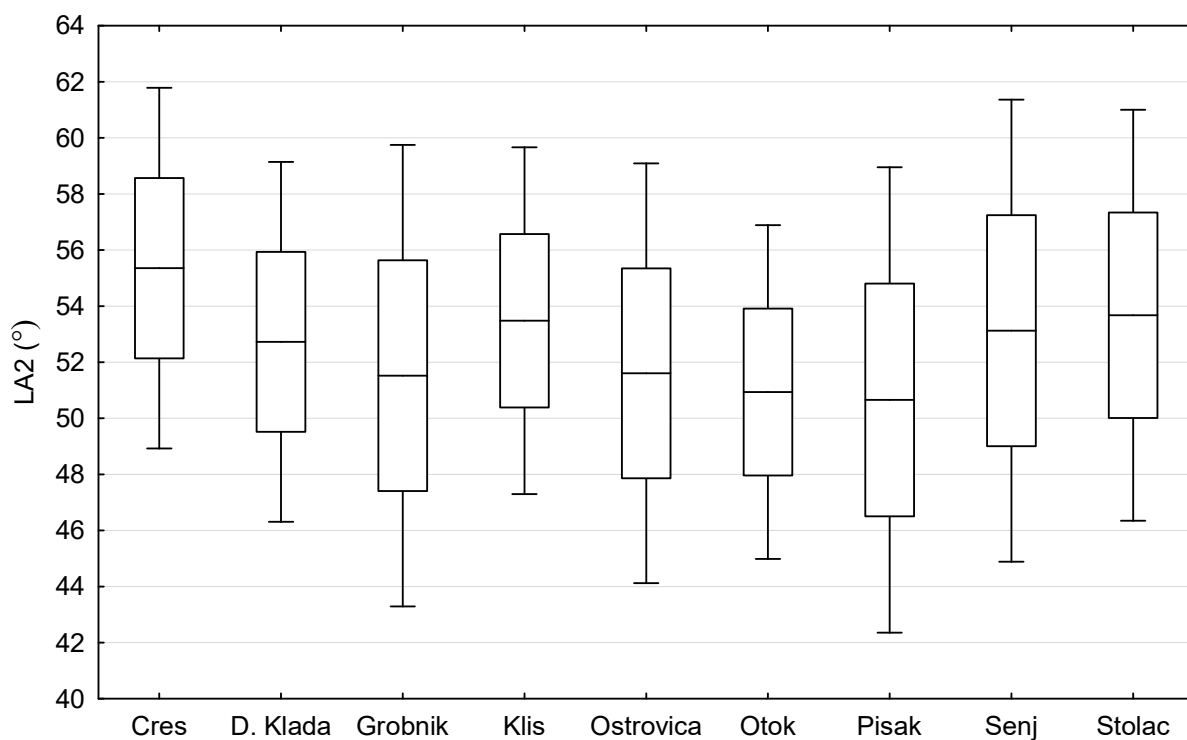
**Slika 13.** Osnovni statistički parametri za udaljenost od osnove lista do najveće širine lista (PMPW) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* – aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije.



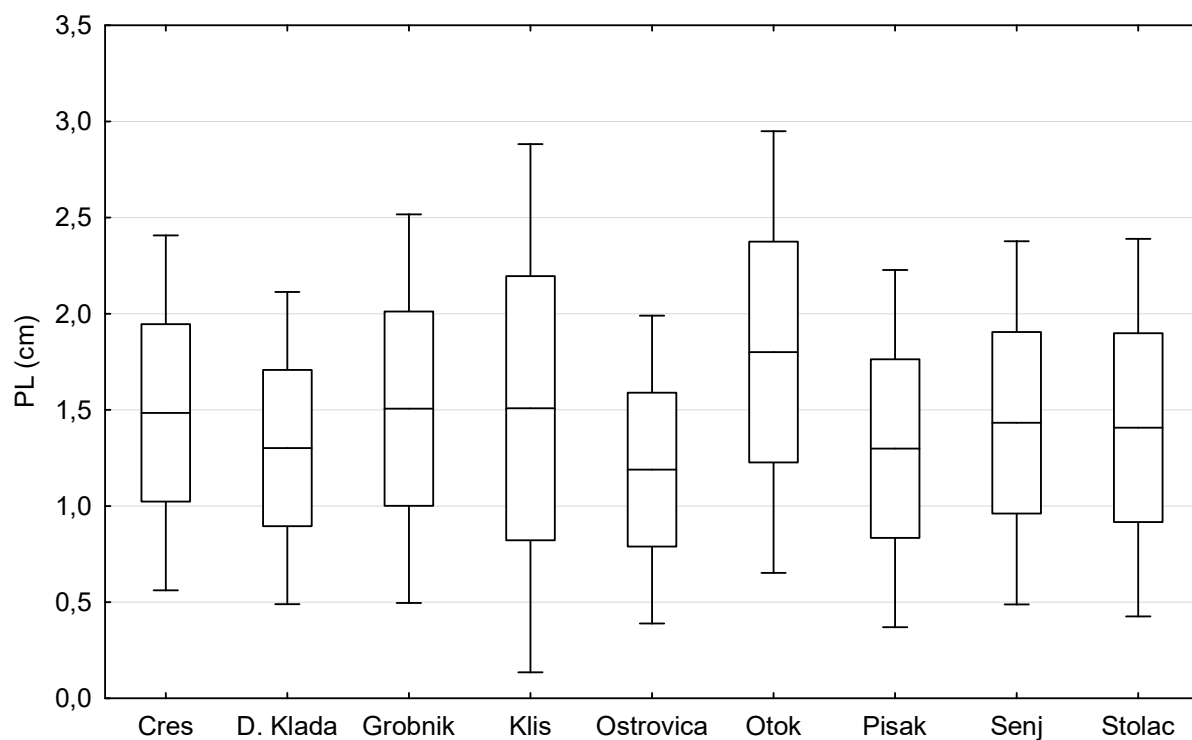
**Slika 14.** Osnovni statistički parametri za širinu lista na 90 % njegove dužine (PW2) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* - aritmetička sredina  $\pm$  2 $\times$ standardne devijacije.



**Slika 15.** Osnovni statistički parametri za kut koji zatvara glavna lisna žila s pravcem koji je definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, koja se nalazi na 10 % dužine plojke (LA1) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* - aritmetička sredina  $\pm$  2 $\times$ standardne devijacije.



**Slika 16.** Osnovni statistički parametri za kut koji zatvara glavna lisna žila s pravcem koji je definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, koja se nalazi na 25 % dužine plojke (LA2) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* - aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije.



**Slika 17.** Osnovni statistički parametri za dužinu peteljke (PL) devet populacija rašeljke u Hrvatskoj. *Box & Whiskers* dijagrami: \_\_\_ aritmetička sredina, *box* – aritmetička sredina  $\pm$  standardna devijacija, *whiskers* - aritmetička sredina  $\pm 2 \times$  standardne devijacije.

## Korelacijska analiza

Rezultati provedene korelacijske analize prikazani su u tablicama 2 i 3. U Tablici 2 prikazan je međusoban odnos između mjerenih značajka listova, a u Tablici 3 između mjerenih značajka listova i geografskih i klimatskih varijabla. Signifikantne vrijednosti u tablicama označene su crvenom bojom.

Iz Tablice 2 je vidljivo da su utvrđene visoke i statistički značajne pozitivne korelacije između površine plojke (LA) i sljedećih morfoloških svojstava: P (opseg plojke), BL (dužina plojke), MPW (maksimalna širina plojke), PMLW (dužina plojke, mjerena od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke), PW2 (širina plojke na 90 % dužine plojke) i PL (dužina peteljke). Isto tako, visoka i statistički značajna pozitivna korelacija utvrđena je između značajke P (opseg plojke) i sljedećih značajka: BL (dužina plojke), MPW (maksimalna širina plojke), PMPW (dužina plojke, mjerena od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke), PW2 (širina plojke na 90 % dužine plojke) i PL (dužina peteljke); zatim između značajke FC (koeficijent oblika) i LA1 i LA2 (kut koji zatvaraju glavna lisna žila i točku na rubu lista, koja se nalazi na 10 i 25 % dužine plojke); između značajke BL (dužina plojke) i MPW (maksimalna širina plojke), PMPW (dužina plojke, mjerena od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke) i PL (dužina peteljke); između značajke MPW (maksimalna širina plojke) i PMPW (dužina plojke, mjerena od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke), PW2 (širina plojke na 90 % dužine plojke) i PL (dužina peteljke); između PMPW (dužina plojke, mjerena od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke) i PL (dužina peteljke) te među značajkama LA1 i LA2 (kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac koji prolazi kroz osnovu plojke i točku na rubu lista, koja se nalazi na 10 % i 25 % dužine plojke). Između istraživanih značajka nisu utvrđene statistički značajne negativne korelacije.

Za potrebe korelacijske analize, od ukupno 19 bio-klimatskih varijabla preuzetih iz WorldClim baze podataka (Prilog 1; Hijmans i sur. 2005), Spearmanovim koeficijentom korelacije izdvojeno je sedam ( $r > 0,85$ ) koje su korištene u daljnjoj analizi (Tablica 1): prosječna godišnja temperatura (BIO1); izotermija (BIO3); temperaturna sezonalnost (standardna devijacija  $\times 100$ ) (BIO4); godišnji temperaturni raspon (BIO7); srednja temperatura najvlažnijeg kvartala (BIO8); količina oborina u najsušem mjesecu (BIO14) i sezonska količina oborina (BIO15). U statistički značajnoj pozitivnoj korelaciji su značajke BIO4 i BIO5 sa sljedećim značajkama (Tablica 3): LA (površina plojke), P (opseg plojke), BL (dužina plojke), MPW (maksimalna širina plojke), PMPW (dužina plojke, mjerena od osnove plojke do mjesta najveće širine plojke) i PL (dužina peteljke).

**Tablica 2.** Korelacije između morfoloških značajka.

	LA	P	FC	BL	MPW	PMPW	PW2	LA1	LA2	PL
LA	1,00	<b>0,99</b>	-0,38	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,76</b>	-0,09	-0,10	<b>0,74</b>
P	<b>0,99</b>	1,00	-0,49	<b>1,00</b>	<b>0,95</b>	<b>0,98</b>	<b>0,72</b>	-0,19	-0,20	<b>0,69</b>
FC	-0,38	-0,49	1,00	-0,54	-0,21	-0,58	0,09	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	-0,08
BL	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>	-0,54	1,00	<b>0,92</b>	<b>0,99</b>	0,65	-0,27	-0,28	<b>0,72</b>
MPW	<b>0,98</b>	<b>0,95</b>	-0,21	<b>0,92</b>	1,00	<b>0,89</b>	<b>0,85</b>	0,11	0,11	<b>0,71</b>
PMPW	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	-0,58	<b>0,99</b>	<b>0,89</b>	1,00	0,63	-0,32	-0,34	<b>0,67</b>
PW2	<b>0,76</b>	<b>0,72</b>	0,09	0,65	<b>0,85</b>	0,63	1,00	0,41	0,42	0,36
LA1	-0,09	-0,19	<b>0,92</b>	-0,27	0,11	-0,32	0,41	1,00	<b>0,99</b>	0,02
LA2	-0,10	-0,20	<b>0,90</b>	-0,28	0,11	-0,34	0,42	<b>0,99</b>	1,00	-0,01
PL	<b>0,74</b>	<b>0,69</b>	-0,08	<b>0,72</b>	<b>0,71</b>	<b>0,67</b>	0,36	0,02	-0,01	1,00

Statistički značajne vrijednosti označene su crvenom bojom.

**Tablica 3.** Korelacije između geografskih, okolišnih i morfoloških značajka.

	LA	P	FC	BL	MPW	PMPW	PW2	LA1	LA2	PL
Long.	0,39	0,43	-0,54	0,47	0,30	0,43	-0,11	-0,49	-0,48	0,38
Lat.	-0,34	-0,36	0,37	-0,39	-0,29	-0,34	0,10	0,30	0,30	-0,35
bio_1	0,20	0,24	-0,40	0,25	0,18	0,22	-0,07	-0,23	-0,22	-0,05
bio_3	0,52	0,55	-0,54	0,59	0,39	0,63	0,20	-0,56	-0,55	0,54
bio_4	<b>0,86</b>	<b>0,86</b>	-0,25	<b>0,84</b>	<b>0,90</b>	<b>0,79</b>	0,66	0,03	0,07	<b>0,73</b>
bio_7	<b>0,89</b>	<b>0,90</b>	-0,47	<b>0,91</b>	<b>0,84</b>	<b>0,90</b>	0,52	-0,29	-0,27	<b>0,85</b>
bio_8	0,04	0,08	-0,34	0,06	0,03	0,08	0,10	-0,15	-0,16	-0,50
bio_14	-0,34	-0,34	0,18	-0,34	-0,35	-0,28	-0,12	-0,01	0,00	-0,14
bio_15	-0,14	-0,14	0,09	-0,18	-0,09	-0,19	0,11	0,27	0,22	-0,56

Statistički značajne vrijednosti označene su crvenom bojom.



## Analiza varijance

Provedenom analizom varijance utvrđeno je da se stabla unutar populacija i populacije međusobno razlikuju na statički značajnoj razini za sve istraživane značajke (Tablica 4). Metodom najveće vjerodostojnosti (REML) dobiven je uvid u zastupljenost pojedinih izvora varijabilnosti u ukupnoj varijanci za sve istraživane varijable. Najveći udio ukupne varijabilnosti otpada na komponentu ostatka, tj. na listove unutar stabla. Kao iznimka javljaju se značajke LA (površina lisne plojke), P (opseg lisne plojke) i BL (dužina lisne plojke) u kojih najveći udio od ukupne varijance zauzima međupopulacijska varijabilnost.

**Tablica 4.** Rezultati univarijantne analize varijance (ANOVA).

Značajka	Sastavnice varijance	df	F	Postotak varijabilnosti	P-vrijednost
LA	Populacija	8	18,62	40,94	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	12,33	21,35	< 0,01
	Ostatak			37,71	
P	Populacija	8	18,69	39,99	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	11,49	20,64	< 0,01
	Ostatak			39,37	
FC	Populacija	8	5,54	10,24	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	6,37	19,01	< 0,01
	Ostatak			70,75	
LL	Populacija	8	21,50	42,20	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	10,51	18,62	< 0,01
	Ostatak			39,18	
MLW	Populacija	8	13,90	34,27	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	12,89	24,50	< 0,01
	Ostatak			41,23	
PMLW	Populacija	8	15,16	24,61	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	5,69	14,32	< 0,01
	Ostatak			61,07	
LW2	Populacija	8	2,89	4,89	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	7,13	22,30	< 0,01
	Ostatak			72,81	
LA1	Populacija	8	4,80	9,11	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	6,70	20,24	< 0,01
	Ostatak			70,65	
LA2	Populacija	8	5,38	12,43	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	8,38	23,61	< 0,01
	Ostatak			63,96	
PL	Populacija	8	5,38	8,81	< 0,01
	Stablo (Populacija)	81	5,38	16,37	< 0,01
	Ostatak			74,82	

Statistički značajne vrijednosti označene su crvenom bojom.

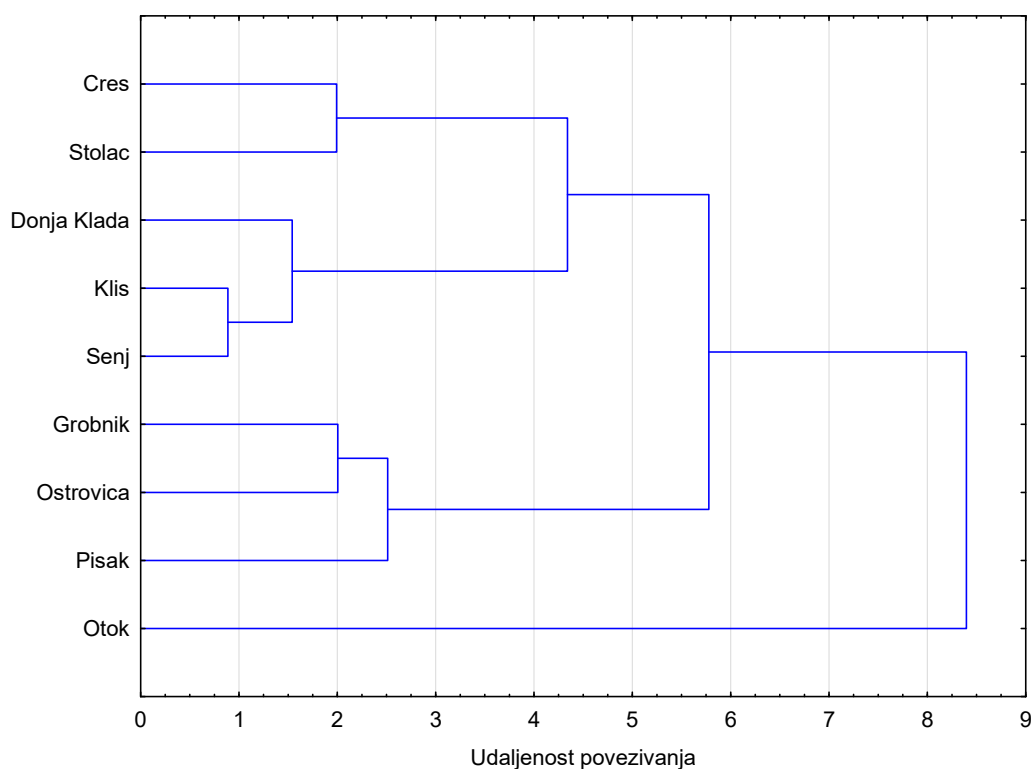
## Multivarijatne statističke metode

### Klasterska analiza

Kako bi se dobio bolji uvid u odnose između istraživanih populacija korištena je klasterska analiza. Analiza je provedena na ukupnom uzorku pri čemu su kao ulaz korištene aritmetičke sredine populacija za analizirane morfološke značajke lista.

Klasterska analiza provedena je primjenom različitih metoda (*Single Linkage*, *Complete Linkage*, UPGMA, WPGMA, *Ward's Method*), a kako su sve metode pokazale sličan raspored *cluster*a, za interpretaciju je odabran UPGMA dendrogram (Slika 18).

Na dendrogramu su uočljive dvije skupine populacija koje se razdvajaju na udaljenosti od 5,75. Prvu skupinu formiraju populacije: Cres, Stolac, Donja Klada, Klis i Senj. Druga skupina je sastavljena od dvije sjeverne populacije Grobnik i Oštrovica i južne populacije Pisak. Navedenim populacijama na udaljenosti od 8,40 pridružuje se populacija Otok.



**Slika 18.** Horizontalno hijerarhijsko stablo devet populacija rašeljke (*Prunus mahaleb* L.) u Hrvatskoj, pri čemu je za udruživanje klastera korištena UPGMA metoda, a za definiranje udaljenosti između istraživanih objekata Euklidova udaljenost.

## Diskriminantna analiza

Cjelokupni rezultati diskriminantne analize nam ukazuju na činjenicu da je razlikovanje između istraživanih populacija signifikantno: Wilksova  $\lambda = 0,06129$ ;  $F(72,451) = 3,6540$ ;  $p < 0,00001$ .

Pokazatelji diskriminantne analize prikazani su u Tablici 5. Na temelju vrijednosti parcijalne Wilksove  $\lambda$  može se zaključiti da varijable LA (površina lisne plojke) i LA1 (kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, koja se nalazi na 10 % dužine plojke) najviše doprinose razlikovanju populacija rašeljke (najniža vrijednost parcijalne  $\lambda$ ). S druge strane, sljedeće značajke ne doprinose razlikovanju istraživanih populacija na statistički značajnoj razini: FC (koeficijent koji opisuje oblik lisne plojke), BL (dužina plojke) i PMPW (udaljenost od osnove plojke do mjesta njezine najveće širine).

**Tablica 5.** Pokazatelji diskriminantne analize, po varijablama.

Značajka	Wilksova $\lambda$	Parcijalna $\lambda$	F	p-vrijednost
LA	0,082365	0,744074	3,138561	0,004170
FC	0,063184	0,969953	0,282671	0,969706
BL	0,072515	0,845140	1,672029	0,119843
MPW	0,078345	0,782248	2,540098	0,016901
PMPW	0,074415	0,823567	1,954856	0,064474
PW2	0,078775	0,777985	2,604023	0,014565
LA1	0,079971	0,766351	2,782082	0,009611
LA2	0,077119	0,794688	2,357493	0,025800
PL	0,078576	0,779948	2,574506	0,015601

Za devet varijabla ( $p < 0,05$ ) i devet grupa, kanoničkom analizom dobiveno je osam diskriminacijskih funkcija (broj funkcija = manji broj između broja varijabla i broja grupa minus jedan). Nakon toga je utvrđen doprinos svake pojedine varijable razlikovanju definiranih grupa. Standardizirani koeficijenti kanoničkih varijabli prikazani su u Tablici 6. Što je veći standardizirani koeficijent po svojoj apsolutnoj vrijednosti to je i veći doprinos pripadne varijable razlikovanju grupa koje je definirano dotičnom diskriminacijskom funkcijom. Ista tablica sadrži i svojstvene vrijednosti te kumulativni udio varijabilnosti za svaku funkciju. Iz tablice se može vidjeti da prve dvije funkcije sadrže 79,02 % objašnjene varijabilnosti. Svojstvena vrijednost je u ostalih šest funkcija značajno manja od 1.

**Tablica 6.** Standardizirani koeficijenti kanoničkih varijabli.

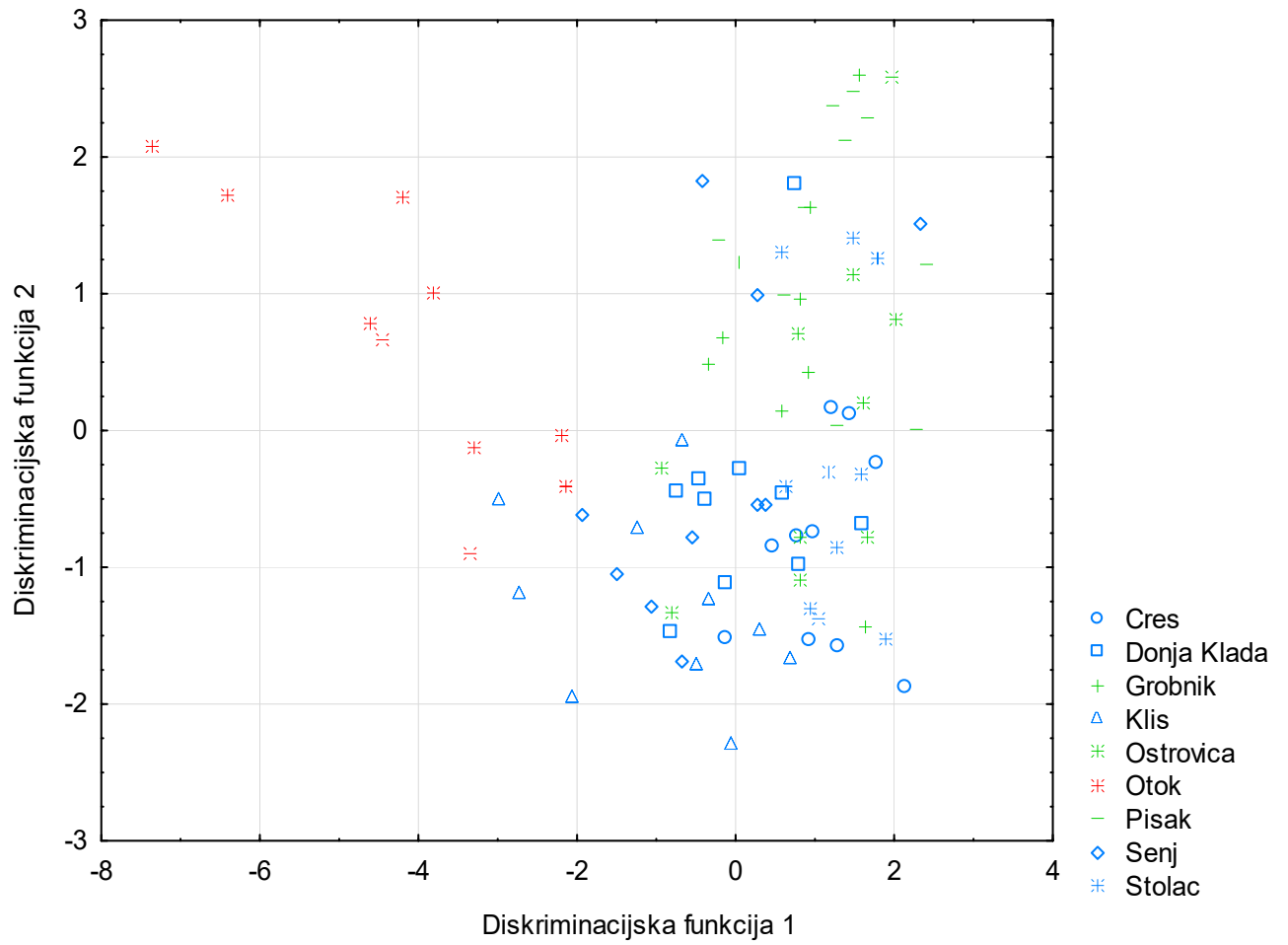
Značajka	DF1	DF2	DF3	DF4	DF5	DF6	DF7	DF8
LA	-2,77642	3,38877	3,76236	-0,83429	1,23545	-3,18798	2,19997	1,06458
FC	0,01379	-0,19987	0,36381	-0,11357	0,18768	-0,91401	-0,04376	-0,32929
BL	-0,67299	-3,51088	-0,16551	-0,13838	-4,44321	2,25074	-0,35661	-3,69047
MPW	2,46465	-0,58419	-5,28601	2,57586	4,98613	-0,28223	-1,15248	2,10575
PMPW	-0,02496	0,66814	1,21968	-1,85002	-1,12941	1,01117	-0,36137	1,35750
PW2	0,77294	-0,62125	-0,47822	-0,18639	0,09409	-0,07537	-1,07098	-0,91184
LA1	1,89060	0,77541	-0,85135	-0,92948	2,89557	2,00583	-0,47960	0,17887
LA2	-2,62128	-2,11516	3,14646	-0,61503	-6,40884	0,26379	0,99662	-1,00019
PL	-0,23304	0,41814	0,36096	0,82516	0,14961	0,26300	-0,49462	0,07982
Svojstvena vrijednost	3,02668	0,71965	0,47011	0,32633	0,13084	0,04164	0,02435	0,00159
Kumulativna proporcija	0,63838	0,79017	0,88932	0,95815	0,98575	0,99453	0,99967	1,00000

Nakon što je utvrđeno koja svojstva lista i u kojoj mjeri doprinose razlikovanju istraživanih grupa pristupilo se određivanju sredina kanoničkih varijabla kako bi se utvrdilo koje se grupe međusobno razlikuju po pojedinim funkcijama. Iz Tablice 7 jasno se vidi da prva diskriminacijska funkcija najbolje razlikuje populaciju Otok od ostalih istraživanih populacija. Duž druge osi nazire se odvajanje populacija Pisak, Grobnik, Otok i Oštrovica od ostalih pet populacija.

**Tablica 7.** Sredine kanoničkih varijabli po populacijama.

Populacija	DF1	DF2	DF3	DF4	DF5	DF6	DF7	DF8
Cres	1,08137	-0,87304	1,306686	0,166999	-0,161002	0,127579	0,157397	0,026132
Donja Klada	0,11446	-0,44198	-0,470485	-0,927384	0,102792	0,353728	-0,014537	-0,033876
Grobnik	0,57504	0,81229	-0,063403	0,625402	-0,028029	0,234171	-0,256075	0,038829
Klis	-0,95630	-1,27198	-0,931753	0,893250	-0,078591	-0,036038	0,049755	-0,016791
Oštrovica	0,94578	0,11776	-0,565215	-0,606594	-0,625892	-0,213506	0,002774	0,039608
Otok	-4,17586	0,64758	0,500834	-0,122324	-0,156866	-0,030455	0,015958	-0,009399
Pisak	1,46163	1,43829	-0,250301	0,307004	0,126509	-0,010021	0,243314	-0,031891
Senj	-0,28622	-0,21859	-0,124961	-0,295757	0,761920	-0,176533	0,012486	0,050593
Stolac	1,24011	-0,21033	0,598599	-0,040596	0,059160	-0,248923	-0,211072	-0,063205

Na Slici 19 prikazane su projekcije kanonskih varijabla za prve dvije diskriminacijske funkcije. Iako te projekcije na grafikonu čine kontinuirani oblak podataka, jasno se nazire odvajanje populacije Otok od ostalih populacija.



Slika 19. Grafički prikaz prve i druge diskriminacijske funkcije.

## RASPRAVA

Iako gospodarski nedovoljno iskorištena i nevažna vrsta, rašeljka je od iznimne važnosti za bioraznolikost. Usprkos tomu, nije često predmet znanstvenih studija. Prema našim saznanjima, ne postoji niti jedno znanstveno istraživanje provedeno u Hrvatskoj koje se prvenstveno bavilo ovom vrstom. Literatura o ovoj vrsti je štura i uglavnom je orijentirana na kemiju plodova (Alma i sur. 2012; Ieri i sur. 2012; Blando i sur. 2015; Gerardi i sur. 2015) i korištenje podloga od rašeljke za cijepljenje kultivara voćkarica iz roda *Prunus* L. (Hrotkó 1996; Ganji Moghadam i Khalighi 2007; Ozyurt i sur. 2013). Stoga će ovo istraživanje biti dobar početak boljeg upoznavanja ove zanemarene autohtone vrste i postaviti temelje za daljnja, molekularno-biolška, ekološka i morfolška istraživanja.

Provedenim istraživanjem utvrđena je velika varijabilnost mjerenih morfolških značajka listova rašeljke iz devet prirodnih populacija u Hrvatskoj. Najvarijabilnije značajke, s koeficijentima varijabilnosti iznad 30 %, bile su širina plojke mjerena na 90 % dužine plojke (PW2), površina plojke (LA) te dužina peteljke (PL). Nasuprot tome, najmanji stupanj varijabilnosti zabilježen je za varijable koje opisuju oblik osnove lisne plojke: kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, koja se nalazi na 10 % dužine plojke (LA1) i kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista koja se nalazi na 25 % dužine plojke (LA2). Do sličnih rezultata dolaze i Poljak i sur. (2014, 2018) prilikom utvrđivanja varijabilnosti populacija bijele (*Alnus incana* (L.) Moench subsp. *incana*) i crne johe (*A. glutinosa* (L.) Gaertn.).

Prosječne vrijednosti dobivene u ovom istraživanju sveukupno su se kretale za dužinu lista (BL) od 1,47 do 5,86 cm te za najveću širinu lista (MPW) i dužinu peteljke (PL) od 0,86 do 4,00 cm, odnosno od 0,50 do 3,90 cm. Herman (1971) i Šilić (1983) opisuju tamnozeleno i sjajne listove smještene na do 2 cm dugačkim peteljka s jednom ili dvije žlijezde pri vrhu. Iznoseći parametre deskriptivne morfologije za rašeljku, Idžojić (2009) navodi raspon vrijednosti od 3 do 5 cm za dužinu plojke, odnosno od 2 do 3 cm za širinu plojke. Popescu i Caudullo (2016) opisuju 4 do 7 cm dugačke listove, srcolika oblika, na 1 do 2 cm dugačkim peteljka. Prosječne vrijednosti u ovom istraživanju za površinu (LA) i opseg (P) lisne plojke iznosile su 4,15 cm<sup>2</sup> i 7,63 cm te za FC vrijednost koja opisuje oblik lista 0,88.

Temeljem univarijatne analize varijance (ANOVA) potvrđene su statistički značajne razlike za sve istraživane varijable na unutarpopulacijskoj i međupopulacijskoj razini. Unutarpopulacijska varijabilnost bila je veća nego međupopulacijska za značajke koje opisuju oblik lisne plojke, vrh lista i dužinu peteljke. Velika unutarpopulacijska varijabilnost upućuje

na slobodan protok gena između populacija, a sličan obrazac raspodjele ukupne varijabilnosti dobivaju i mnogi drugi autori prilikom istraživanja morfološke varijabilnosti listova drvenastih svojiti (Kajba 1996; Škvorc 2003; Bednorz 2006; Idžojić i sur. 2006; Zebec i sur. 2010, 2014, 2015; Poljak i sur. 2014, 2015, 2018). Dosadašnja istraživanja genske raznolikosti populacija drvenastih vrsta kojima plodove i sjeme raznose ptice u potpunosti potvrđuju ovaj očekivani obrazac variranja. U svojim genetičkim istraživanjima populacija mirobalane (*P. cerasifera* Ehrh.) na obali Kaspijskog jezera u Iranu, Wöhrmann i sur. (2011) utvrđuju da se 96,8 % od ukupne varijabilnosti može objasniti razlikama između jedina unutar populacija. Relativno visoku unutarpopulacijsku i nisku međupopulacijsku genetičku varijabilnost bilježe i Li i sur. (2013) za divlje populacije marelice (*P. armeniaca* L.) u Kini te Jarni i sur. (2012) za prirodne populacije divlje trešnje (*P. avium* L.) u Sloveniji. Do sličnih zaključaka dolaze i autori koji istražuju varijabilnost populacija vrsta iz roda *Sorbus* L. sensu latissimo koristeći različite molekularne markere (Bednorz i sur. 2006; Belletti i sur. 2008; Nyári 2010; George i sur. 2015). Za razliku od toga, veća međupopulacijska varijabilnost bila je svojstvena značajkama LA (površina lisne plojke), P (opseg lisne plojke), BL (dužina lisne plojke), PMPW (udaljenost od osnove lisne plojke do mjesta njezine najveće širine) i MPW (maksimalan širina lisne plojke). Navedene varijable pod većim su utjecajem ekoloških čimbenika u odnosu na varijable koje opisuju oblik lista. Tako velike razlike između populacija rašeljke mogu se pripisati činjenici da rašeljka u Hrvatskoj raste u različitim ekološkim uvjetima (posebno edafskim i klimatskim) i različitim šumskim zajednicama. Iako ovi rezultati upućuju i na moguću prilagodbu genotipova rašeljke na određene ekološke uvijete na određenom području djelovanjem selekcijskih procesa dobiveni rezultati mogu biti i rezultat fenotipske plastičnosti koja ne mora imati svoje podrijetlo u genetičkoj nego u epigenetičkoj raznolikosti zbog promjenjivih okolišnih uvjeta (Bossdorf i sur. 2008; Zhang i sur. 2013).

Trend diferencijacije populacija, prethodno dobiven metodama deskriptivne statistike i analize varijance, dodatno je pojašnjen primjenom klusterske i kanoničke diskriminantne analize. Za populacije obuhvaćene našim istraživanjem ne može se uočiti jasan uzorak geografske strukturiranosti populacija. Štoviše, klusterskom analizom je utvrđeno da su međusobno najbližije populacije Klis i Senj koje su međusobno udaljene oko 200 km, dok susjedne populacije međusobno udaljene manje od 10 km (kao npr. Senj i Stolac) ne pokazuju toliku sličnost i spajaju se na puno većoj udaljenosti. To se može objasniti činjenicom da je rašeljka vrsta čije plodove/sjeme raznose ptice (Jordano i Schupp 2000; Herrera i Jordano 1981). García i sur. (2007) u svom istraživanju dokazuju veliki protok gena između relativno

izoliranih populacija rašeljke u Španjolskoj, gdje je 18,5 % promatranih gameta poteklo iz druge populacije, koje su bile udaljene i do 20 km. Malu populacijsku diferenciranost, kao i genetičku homogenost populacija u svom istraživanju dobivaju i Jordano i Godoy (2000) na temelju analize genske strukture sedam populacija rašeljke u Španjolskoj. Izostanak geografske diferenciranosti u vrste čije sjeme šire ptice, na temelju genetičkih istraživanja uočavaju i De Rogatis i sur. (2013) za prirodne populacije divlje trešnje (*P. avium* L.) u Italiji, kao i Demesure i sur. (2000) i Kučerova i sur. (2010) za populacije brekinje (*S. torminalis* (L.) Crantz) u Francuskoj, odnosno na području istočne Europe. Hoebee i sur. (2006) dolaze do istog zaključka za istu vrstu u Švicarskoj.

Iako je naše istraživanje uključivalo samo jednu populaciju ekološki i geografski jasno odvojenu od morske obale, ona se prema rezultatima klusterske i diskriminantne analize jasno odvojila od ostalih populacija. Radi se o populaciji Otok, koja se pridružuje ostalim populacijama na najvećoj udaljenosti i koja ima prosječno najveće vrijednosti za osam od ukupno deset mjerenih značajka. Od 10 morfoloških osobina lista, najveću diskriminantnu vrijednost za odvajanje populacije Otok imale su varijable LA (površina lisne plojke), MPW (maksimalna širina plojke), LA1 i LA2 (kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, koja se nalazi na 10 i 25 % dužine plojke). Općenito, populaciju Otok karakteriziraju veći i širi listovi, dok ostale populacije karakteriziraju veće vrijednosti za lisne kutove LA1 i LA2, odnosno zaobljenije osnove lisne plojke.

Dobivene rezultate analize varijance i multivarijatnih statističkih metoda potvrđuje i korelacijska analiza. Naime, istraživanjima nije utvrđena statistički značajna korelacija između geografske širine i dužine i mjerenih značajka listova. Od sedam bio-klimatskih varijabla izdvojenih iz WorldClim baze podataka, dvije su pokazale statički značajnu pozitivnu korelaciju s mjerenim značajkama lista, a to su temperaturna sezonalnost (standardna devijacija  $\times$  100) (BIO4) i godišnji temperaturni raspon (BIO7).

S obzirom na sve navedeno jasno je da naši rezultati upućuju na to da na morfološku varijabilnost i strukturiranost populacija rašeljke utječu ptice, odnosno raznošenje plodova i sjemena pomoću ptica, i ekološki čimbenici. Stoga je buduća istraživanja morfološke varijabilnosti populacija rašeljke potrebno proširiti i na ekološka istraživanja, i to posebice na pedološka, s obzirom na to da tip tla i kamenitost terena može imati veliki utjecaj na varijabilnost mediteranskih populacija. Osim toga, kako bi se potvrdili dobiveni zaključci o varijabilnosti populacija rašeljke u Hrvatskoj dobiveni morfometrijskim metodama, istraživanja je svakako potrebno proširiti i na molekularno-biološke metode.



## ZAKLJUČCI

Na temelju analiziranih morfoloških značajka listova rašeljke iz devet prirodnih populacija iz mediteranskog dijela Hrvatske, proizlaze sljedeći zaključci:

1. Deskriptivna analiza izdvaja značajke PW2 (širina plojke mjerena na 90 % dužine plojke), LA (površina plojke) i PL (dužina peteljke) kao najvarijabilnije, dok su značajke LA1 i LA2 (kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, koja se nalazi na 10 i 25 % dužine plojke) najmanje varijabilne.
2. Nije utvrđena statistički značajna korelacija između geografske širine i geografske dužine s analiziranim značajkama lista.
3. Od sedam bio-klimatskih varijabla izdvojenih iz WorldClim baze podataka, dvije su pokazale statistički značajnu pozitivnu korelaciju s mjerenim značajkama lista, a to su: temperaturna sezonalnost (standardna devijacija  $\times$  100) (BIO4) i godišnji temperaturni raspon (BIO7).
4. Utvrđene su statistički značajne razlike na unutar- i međupopulacijskoj razini. Unutarpopulacijska varijabilnost bila je veća nego međupopulacijska za značajke koje opisuju oblik lisne plojke, vrh lista i dužinu peteljke. Značajkama tradicionalne morfometrijske analize, kao što su dužina i najveća širina lista bila je svojstvena veća međupopulacijska varijabilnost.
5. Multivarijatnim statističkim metodama utvrđeno je da se populacija Otok najviše razlikuju u odnosu na ostale istraživane populacije. Specifičnost ove populacije treba tražiti u njezinom geografskom smještaju i specifičnim mikroklimatskim uvjetima, budući da je ona, za razliku od ostalih populacija najudaljenija od mora i raste u uvjetima kontinentalnije klime.
6. Istraživanjem nije utvrđena geografska strukturiranost populacija, a to se može objasniti činjenicom da je rašeljka vrsta čije plodove/sjeme raznose ptice.
7. U konačnici naši rezultati upućuju i na fenotipsku plastičnost rašeljke te na moguću prilagodbu genotipova rašeljke na određene ekološke uvijete na određenom području djelovanjem selekcijskih procesa.

## ZAHVALA

Zahvaljujemo se mentoru, doc. dr. sc. Igoru Poljaku na stručnom vodstvu, savjetima, pruženoj pomoći i predanosti prilikom izrade ovoga rada. Osim toga, zahvaljujemo i Antoniu Vidakoviću, mag. ing. silv., na pruženom znanju i pomoći bez kojih ne bismo mogli izraditi ovaj rad.

## LITERATURA

- Alma, M. H., E. Karaogul, M. Ertas, E. Altuntas, S. Karaman, E. Diraz, 2012: Chemical composition of seed oil from Turkish *Prunus mahaleb* L., Anal. Chem. Lett., 2 (3): 182–185.
- Bakić, I. V., V. S. Rakonjac, S. D. Čolić, M. M. Fotirić Akšić, D. T. Nikolić, A. A. Radović, D. D. Rahović, 2017: Agro–morphological characterisation and evaluation of the Serbian vineyard peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) germplasm collection, Sci. Hortic., 225: 668–675.
- Ballian, D., A. Mujagić–Pašić, 2013: Morphological variability of the fruit and seed of wild cherry (*Prunus avium* L.) in a part of its natural distribution in Bosnia and Herzegovina, Biol. Nyssana, 4 (1–2): 15–17.
- Bartha, D., 1999: *Prunus mahaleb* Linne 1753. Enzyklopädie der Holzgewächse III–2, 15. Erg. Lfg. 3/99.
- Bednorz, L., A. Byzia, 2005: Morphological leaf variability of rowan (*Sorbus aucuparia* L. Emend. Hedl. subsp. *aucuparia*) in the Wielkopolska National Park. Roczn. AR Pozn. 372, Bot.–Stec. 9: 13–22.
- Bednorz, L., 2006: Morphological variability of leaves of *Sorbus torminalis* (L.) Crantz in Poland, Acta Soc. Bot. Pol., 3: 233–243.
- Bednorz, L., 2007: Morphological variability of fruits and seeds of *Sorbus torminalis* in Poland, Dendrobiology, 57: 3–14.
- Bednorz, L., Ł. Myczko, P. Kosiński, 2006: Genetic variability and structure of the wild service tree (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) in Poland, Silvae Genet., 55 (4/5): 197–202.
- Belletti, P., I. Monteleone, D. Ferrazzini, 2008: A population genetic study in a scattered forest species, wild service tree [*Sorbus torminalis* (L.) Crantz], using RAPD markers, Eur. J. Forest Res. 127: 103–114.
- Blando, F., C. Albano, Y. Liu, I. Nicoletti, D. Corradini, N. Tommasi, C. Gerardi, G. Mita, D. D. Kitts, 2015: Polyphenolic composition and antioxidant activity of the under–utilised *Prunus mahaleb* L. fruit, J. Sci. Food Agric. 96: 2641–2649.
- Bossdorf, O., C. L. Richards, M. Pigliucci, 2008: Epigenetics for ecologists, Ecol Lett., 11: 106–115.

- Brus, R., D. Ballian, F. Bogunić, M. Bobinac, M. Idžojić, 2011: Leaflet morphometric variation of service tree (*Sorbus domestica* L.) in the Balkan Peninsula, *Plant Biosyst.*, 145: 278–285.
- Conover, W. J., 1980: *Practical Nonparametric Statistics*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Čolić, S., V. Rakonjac, G. Zec, D. Nikolić, M. Fotirić Akšić, 2012: Morphological and biochemical evaluation of selected almond (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) genotypes in northern Serbia, *Turk. J. Agric. For.*, 36: 429–438.
- De Rogatis, A., D. Ferrazzini, F. Ducci, S. Guerri, S. Carnevale, P. Belletti, 2012: Genetic variation in Italian wild cherry (*Prunus avium* L.) as characterized by nSSR markers, *Forestry*, 86: 391–400.
- Demesure, B., B. Le Guerroué, G. Lucchi, D. Prat, R.–J. Petit, 2000: Genetic variability of scattered temperate forest tree: *Sorbus torminalis* (L.) Crantz, *Ann. For. Sci.*, 57: 63–71.
- Ekhvaia, J., M. Akhalkatsi, 2010: Morphological variation and relationships of Georgian populations of *Vitis vinifera* L. subsp. *sylvestris* (C.C. Gmel.) Hegi, *Flora*, 205: 608–617.
- Everitt, B. S., 1981: *Cluster analysis*. Heinemann Educational Books, London.
- Farsad, A., M. Esna–Ashari, 2016: Genetic diversity of some Iranian sweet cherry (*Prunus avium*) cultivars using microsatellite markers and morphological traits, *Cytol. Genet.*, 50 (1): 8–19.
- Fresnedo–Ramírez, J., S. Segura, A. Muratalla–Lúa, 2011: Morphovariability of capulín (*Prunus serotina* Ehrh.) in the central–western region of Mexico from a plant genetic resources perspective, *Genet. Resour. Crop Evol.*, 58: 481–495.
- Ganji Moghadam, E., A. Khalighi, 2007: Relationship between vigor of Iranian *Prunus mahaleb* L. selected dwarf rootstocks and some morphological characters, *Sci. Hortic.*, 111: 209–212.
- García, C., P. Jordano, J. A. Godoy, 2007: Contemporary pollen and seed dispersal in a *Prunus mahaleb* population: patterns in distance and direction, *Mol. Ecol.*, 16 (9): 1947–1955.
- George, J. P., H. Konrad, E. Collin, J. Thevenet, D. Ballian, M. Idzajtich, U. Kamm, P. Zhelev, T. Geburek, 2015: High molecular diversity in true service tree (*Sorbus domestica* L.) despite rareness: data from Europe with special reference to the Austrian occurrence, *Annals of Botany*, 115: 1105–1115.

- Gerardi, C., N. Tommasi, C. Albano, F. Blando, L. Rescio, E. Pinthus, G. Mita, 2015: *Prunus mahaleb* L. fruit extracts: a novel source for natural food pigments, *Eur. Food Res. Technol.*, 241: 683–695.
- Guzmán, F. A., S. Segura, J. Fresnedo–Ramírez, 2018: Morphological variation in black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) associated with environmental conditions in Mexico and the United States, *Genet. Resour. Crop Evol.*, 65: 2151–2168.
- Hamzaoui, A. E., A. Oukabli, M. Moumni, 2014: Morphological and molecular diversity and genetic structure of Moroccan cultivated almond (*Prunus dulcis* Mill.) beside some foreign varieties, *Plant Genet. Resour.*, 12 (3): 308–316.
- Hashemi, S., A. Khadivi, 2020: Morphological and pomological characteristics of white mulberry (*Morus alba* L.) accessions, *Sci. Hortic.*, 259: 108827.
- Herrera, C. M., P. Jordano, 1981: *Prunus mahaleb* and birds: The high-efficiency seed dispersal system of a temperate fruiting tree, *Ecol. Monogr.*, 51 (2): 203–218.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, A. Jarvis, 2005: Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, *Int J Climatol*, 25: 1965–1978.
- Hoebee, S. E., C. Menn, P. Rotach, R. Finkeldey, R. Holderegger, 2006: Spatial genetic structure of *Sorbus torminalis*: The extent of clonal reproduction in natural stands of a rare tree species with a scattered distribution, *For. Ecol. Manag.*, 226: 1–8.
- Hrotkó, K., 1996: Variability in *Prunus mahaleb* L. for cherry rootstock breeding, *Acta Hort.*, 410: 183–187.
- Hutchinson, J., 1964: The genera of flowering plants, vol. 1. Clarendon Press, Oxford, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- Ieri, F., P. Pinelli, A. Romani, 2012: Simultaneous determination of anthocyanins, coumarins and phenolic acids in fruits, kernels and liqueur of *Prunus mahaleb* L., *Food Chem.*, 135: 2157–2162.
- Idžojtić, M., M. Zebec, D. Drvodelić, 2006: Varijabilnost populacija brekinje u kontinentalnom dijelu Hrvatske prema morfološkim obilježjima lišća i plodova, *Glas. šum. pokuse*, 5: 305–314.
- Idžojtić, M., 2009: Dendrologija – List, Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, 904 str., Zagreb.
- Idžojtić, M., 2013: Dendrologija – Cvijet, češer, plod, sjeme, Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, 672 str., Zagreb.

- Jarni, K., B. De Cuyper, R. Brus, 2012: Genetic variability of wild cherry (*Prunus avium* L.) seed stands in Slovenia as revealed by nuclear microsatellite loci, PLoS One 7 (7): e41231.
- Jordano, P., E. W. Schupp, 2000: Seed disperser effectiveness: The quantity component and patterns of seed rain for *Prunus mahaleb*, Ecol. Monogr., 70 (4): 591–615.
- Jordano, P., J. A. Godoy, 2000: RAPD variation and population genetic structure in *Prunus mahaleb* (Rosaceae), an animal–dispersed tree, Mol. Ecol., 9: 1293–1305.
- Kachel, M., R. Nowińska, M. Klimko, 2017: The variability of *Morus alba* L. (Moraceae) leaves in the green areas of Poznań, Steciana, 21 (1): 17–29.
- Kajba, D., 1996: Međupopulacijska i unutarpopulacijska varijabilnost breze (*Betula pendula* Roth.) u dijelu prirodne rasprostranjenosti u Republici Hrvatskoj, Glas. Šum. pokuse, 33: 53–108.
- Kalkman, C., 2004: Rosaceae, U: K. Kubitzki (eds) Flowering Plants. Dicotyledons. The families and genera of vascular plants, vol 6. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Khadivi, A., P. Heidari, M. Rezaei, A. Safari–Khuzani, M. Sahebi, 2019: Morphological variabilities of *Crataegus monogyna* and *C. pentagyna* in northeastern areas of Iran, Ind. Crops Prod., 139: 111531.
- Khadivi–Khub, A., A. Etemadi–Khah, 2015: Phenotypic diversity and relationships between morphological traits in selected almond (*Prunus amygdalus*) germplasm, Agroforest. Syst., 89: 205–216.
- Khadivi–Khub, A., K. Anjam, 2014: Morphological characterization of *Prunus scoparia* using multivariate analysis, Plant Syst. Evol., 300: 1361–1372.
- Khadivi–Khub, A., S. Karimi, M. Kameli, 2015: Morphological diversity of naturally grown *Crataegus monogyna* (Rosaceae, Maloideae) in central Iran, Braz. J. Bot., 38 (4): 921–936.
- Kim, Y. K., S. H. Kim, M. S. Kim, A. Y. Yun, I. H. Park, Y. S. Go, 2019: Leaf morphological characteristics and variation of *Sorbus alnifolia* (Sieb. Et Zucc.) K. Koch in 11 natural habitats, Korean J. Plant Res., 32 (1): 29–37.
- Krichen, L., J–M. Audergon, N. Trifi–Farah, 2014: Variability of morphological characters among Tunisian apricot germplasm, Sci. Hortic., 179: 328–339.
- Kučerova, V., M. Honec, L. Paule, P. Zhelev, D. Gömöry, 2010: Genetic differentiation of *Sorbus torminalis* in Eastern Europe as determined by microsatellite markers, Biologia, 65 (5): 817–821.

- Lacis, G., E. Kaufmane, V. Trajkovski, I. Rashal, 2009: Morphological variability and genetic diversity within Latvian and Swedish sweet cherry collections, *Acta Univ. Latviensis*, 753: 19–32.
- Legendre, P., L. Legendre, 1998: Numerical ecology. Amsterdam, Elsevier Science B. V., 853 str.
- Li, M., Z. Zhao, X. J. Miao, 2013: Genetic variability of wild apricot (*Prunus armeniaca* L.) populations in the Ili valley as revealed by ISSR markers, *Genet. Resour. Crop Evol.*, 60: 2293–2302.
- Mijnsbrugge, K. V., L. Depypere, P. Chaerle, P. Goetghebeur, P. Breyne, 2013: Genetic and morphological variability among autochthonous *Prunus spinosa* populations in Flanders (northern part of Belgium): implications for seed sourcing, *Plant Ecol. Evol.*, 146 (2): 193–202.
- Mikić, T., S. Orlović, M. Marković, B. Kovačević, A. Pilipović, 2008: Variability in service tree (*Sorbus domestica* L.) populations in Serbia, *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 54 (1): 61–67.
- Moradi, Y., A. Khadivi, F. Mirheidari, S. Paryan, 2020: Morphological variability of naturally grown *Prunus scoparia* Spach accessions, *Sci. Hortic.*, 267: 109331.
- Morgan, D. R., D. E. Soltis, K. R. Robertson, 1994: Systematic and evolutionary implications of *rbcL* sequence variation in Rosaceae, *Am. J. Bot.*, 81: 890–903.
- Nikoumanesh, K., A. Ebadi, M. Zeinalabedini, Y. Gogorcena, 2011: Morphological and molecular variability in some Iranian almond genotypes and related *Prunus* species and their potentials for rootstock breeding, *Sci. Hortic.*, 129: 108–118.
- Norouzi, E., J. Erfani-Moghadam, A. Fazeli, A. Khadivi, 2017: Morphological variability within and among three species of *Ziziphus* genus using multivariate analysis, *Sci. Hortic.*, 222: 180–186.
- Nyári, L., 2010: Genetic variability of service tree (*Sorbus domestica* L.) in the Hungarian Middle Mountains – based on cpDNA analysis in two regions, *Acta Silv. Lign. Hung.*, 6: 17–32.
- Ozyurt, I. K., Y. Akca, S. Ercisli, 2013: Molecular characterization of *Prunus mahaleb* L. rootstock candidates by ISSR markers, *Genetika*, 45 (3): 717–726.
- Peris, N. W., K. M. Gacheri, M. M. Theophilus, N. Lucas, 2014: Morphological characterization of mulberry (*Morus* spp.) accessions grown in Kenya, *Sustain. Agric. Res.*, 3 (1): 10–17.

- Poljak, I., D. Kajba, I. Ljubić, M. Idžojić, 2015: Morphological variability of leaves of *Sorbus domestica* L. in Croatia, *Acta Soc. Bot. Pol.*, 84 (2): 249–259.
- Poljak, I., M. Idžojić, I. Šapić, J. Vukelić, M. Zebec, 2014: Varijabilnost populacija bijele (*Alnus incana* /L./ Moench) i crne johe (*A. glutinosa* /L./ Gaertn.) na području Mure i Drave prema morfološkim obilježjima listova, *Šumar. list*, 138 (1–2): 7–17.
- Poljak, I., M. Idžojić, I. Šapić, P. Korijan, J. Vukelić, 2018: Diversity and Structure of Croatian Continental and Alpine–Dinaric Populations of Grey Alder (*Alnus incana* /L./ Moench subsp. *incana*): Isolation by Distance and Environment Explains Phenotypic Divergence, *Šumar. list*, 142 (1–2): 19–32.
- Potter, D., F. Gao, P. Estaban Bortiri, S.–H. Oh, S. Bagget, 2002: Phylogenetic relationships in Rosaceae inferred from chloroplast *matK* and *trnL–trnF* nucleotide sequence data, *Plant Syst. Evol.*, 231: 77–89.
- Potter, D., T. Eriksson, R. C. Evans, S. Oh, J. E. E. Smedmark, D. R. Morgan, M. Kerr, K. R. Robertson, M. Arsenault, T. A. Dickinson, C. S. Campbell, 2007: Phylogeny and classification of Rosaceae, *Pl. Syst. Evol.*, 266: 5–43.
- Raji, R., A. Jannatizadeh, R. Fattahi, M. A. Esfahlani, 2014: Investigation of variability of apricot (*Prunus armeniaca* L.) using morphological traits and microsatellite markers, *Sci. Hortic.*, 176: 225–231.
- Rakonjac, V., E. Mratinić, R. Jovković, M. Fotirić Akšić, 2014: Analysis of morphological variability in wild cherry (*Prunus avium* L.) genetic resources from central Serbia, *J. Agr. Sci. Tech.*, 16: 151–162.
- Rakonjac, V., G. Šurlan–Momirović, I. Ljubanović–Ralević, N. Ralević, M. Milutinović, 1996: Morphological and biochemical variability in different populations of wild sweet cherry (*Prunus avium* L.), *Acta. Hort.*, 410: 413–422.
- Robertson, K. R., 1974: The genera of Rosaceae in the southeastern United States, *J. Arnold Arbor.*, 55 (3): 344–401.
- Schulze–Menz, G. K., 1964: Rosaceae, U: Melchior H. (ed.) Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien II. 12th edn. Gebrüder Borntraeger, Berlin, pp. 209–218.
- Sharma, S., 1996: Applied Multivariate Techniques. John Wiley & Sons, Inc.
- Sokal, R. R., F. J. Rohlf, 2012: Biometry: the principles and practice of statistics in biological research, 4th edition, W.H. Freeman and Co., 937 str., New York.
- StatSoft, Inc. 2001: STATISTICA (data analysis software system), version 8.0.
- Škvorc, Ž., J. Franjić, M. Idžojić, 2005: Population structure of *Quercus pubescens* Willd (Fagaceae) in Croatia according to morphology of leaves, *Acta Bot Hung*, 47: 183–196.



- Takhtajan, A., 1997: Diversity and classification of flowering plants, Columbia Univ. Press, New York.
- Wani, A. A., S. A. Zargar, A. H. Malik, M. Kashtwari, M. Nazir, A. A. Khuroo, F. Ahmad, T. A. Dar, 2017: Assessment of variability in morphological characters of apricot germplasm of Kashmir, India, *Sci. Hortic.*, 225: 630–637.
- WinFolia TM, 2001: Regent Instruments Inc., Quebec, Canada, version PRO 2005b.
- Wöhrmann, T., D. Guicking, K. Khoshbakht, K. Weising, 2011: Genetic variability in wild populations of *Prunus divaricata* Ledeb. In northern Iran evaluated by EST–SSR and genomic SSR marker analysis, *Genet. Resour. Crop Evol.*, 58: 1157–1167.
- Wojcicki, J. J., K. Marhold, 1993: Variability, hybridisation and distribution of *Prunus fruticosa* (Rosaceae) in the Czech Republic and Slovakia, *Polish Bot. Stud.*, 5: 9–24.
- Zhang, Y.–Y., M. Fischer, V. Colot, O. Bossdorf, 2013: Epigenetic variation creates potential for evolution of plant phenotypic plasticity, *New Phytol.*, 197: 314–322.
- Vukelić, J., 2012: Šumska vegetacija Hrvatske, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 403 str.
- Zebec, M., M. Idžojtić, I. Poljak, 2014: Morphological variability of the field elm (*Ulmus minor* Mill. sensu latissimo) in continental Croatia, *Šumar. list*, 138 (11–12): 563–572.
- Zebec, M., M. Idžojtić, I. Poljak, I. Mihaldinec, 2010: The variability of field elm (*Ulmus minor* Mill. sensu latissimo) in Croatian Drava river valley according to the leaf morphology, *Šumar list*, 134 (11–12): 569–580.
- Zebec, M., M. Idžojtić, I. Poljak, I. Modrić, 2015: Population variability of wych elm (*Ulmus glabra* Huds.) in the mountainous region of Croatia according to the leaf morphology, *Šumar. list* 139 (9–10): 429–439.
- Šilić, Č., 1983: Atlas drveća i grmlja, Svjetlost, Sarajevo, 218 str.
- Šilić, Č., 2005: Atlas dendroflora (drveće i grmlje) Bosne i Hercegovine, Matica Hrvatska, Čitluk & Franjevačka kuća, Masna luka, 575 str.

## SAŽETAK

Dario Biondić, Petar Katić, Ivan Brajković

Morfološka raznolikost rašeljke (*Prunus mahaleb* L.) u Hrvatskoj: Izostanak geografske strukturiranosti populacija

Istraživana je varijabilnost devet populacija rašeljke (*Prunus mahaleb* L., Rosaceae) u Hrvatskoj. Morfometrijsko istraživanje unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti provedeno je na osnovi 10 morfoloških značajka listova, pri čemu su korištene multivarijatne i deskriptivne statističke metode. Utvrđena je visoka varijabilnost istraživanih morfoloških značajka te se koeficijent varijabilnosti na razini svih populacija kretao od 5,83 % za značajku kut koji zatvaraju glavna lisna žila i pravac definiran osnovom plojke i točkom na rubu lista, koja se nalazi na 10 % dužine plojke do 41,43 % za značajku širina lista mjerena na 90 % dužine plojke. Unutarpopulacijska varijabilnost bila je veća nego međupopulacijska za značajke koje opisuju oblik lisne plojke, vrh lista i dužinu peteljke. Značajkama tradicionalne morfometrijske analize, kao što su dužina i najveća širina lista bila je svojstvena veća međupopulacijska varijabilnost. Klusterskom i diskriminantnom analizom utvrđeno je da se od svih istraživanih populacija najviše razlikuje populacija Otok. Istraživanjem nije utvrđena geografska strukturiranost populacija, a za dvije od sedam klimatskih varijabla utvrđeno je da statistički značajno koreliraju s mjerenim značajkama lista. Izostanak geografske strukturiranosti populacija može se objasniti činjenicom da je rašeljka vrsta čije plodove/sjeme raznose ptice.

Ključne riječi: rašeljka, *Prunus mahaleb* L., morfometrijska analiza, populacijska varijabilnost, ekološka divergencija

## SUMMARY

Dario Biondić, Petar Katić, Ivan Brajković

### Morphological Diversity of the Mahaleb Cherry (*Prunus mahaleb* L.) in Croatia: Lack of Geographic Structuring of Populations

The research examined the variability of nine populations of the mahaleb cherry (*Prunus mahaleb* L., Rosaceae) in Croatia. A morphometric study of intra- and interpopulation variability was conducted on the basis of 10 morphological characteristics of leaves, using multivariate and descriptive statistical methods. High variability was found among the studied morphological characteristics, and the coefficient of variability on the level of all populations ranged from 5.83% for the characteristic of the angle closed by the main leaf vein and the line defined by the leaf blade base and a point on the leaf margin at 10% of leaf blade length, to 41.43% for the characteristic of leaf width measured at 90% of leaf blade length. Intrapopulation variability was greater than interpopulation variability for the characteristics describing the shape of the leaf blade, leaf apex and petiole length. The characteristics of traditional morphometric analysis, such as length and maximum leaf width, exhibited greater interpopulation variability. Using a cluster and discriminant analysis it was determined that of all the studied populations, the one differing the most was the Otok population. The research did not establish geographical structuring of the populations, and two of the seven climate variables were found to exhibit a statistically significant correlation with the measured leaf characteristics. The lack of geographical structuring of the populations can be explained by the fact that the mahaleb cherry is a species the fruits/seed of which are distributed by birds.

Key words: mahaleb cherry, *Prunus mahaleb* L., morphometric analysis, population variability, ecological divergence

## ŽIVOTOPISI

Dario Biondić

Rođen 12. rujna 1995. godine u Rijeci. Pohađao OŠ "Silvije Strahimir Kranjčević" u Senju. 2010. godine upisao opću gimnaziju "Pavao Ritter Vitezović", također u Senju. 2014. godine završio školu i položio državnu maturu. 2015. godine upisao Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, smjer Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša. 2019. godine završio preddiplomski studij i stekao titulu sveučilišnog prvostupnika inženjera urbanog šumarstva, zaštite prirode i okoliša. Iste godine upisao se u prvu godinu diplomskoga studija na Šumarskom fakultetu, smjer Uzgajanje šuma s lovnim gospodarenjem. Poznavanje engleskog jezika, B razine.

Petar Katić

Rođen 5. ožujka 1992. godine u Splitu. Pohađao OŠ "Kamešnica" u Otoku kraj Sinja. 2006. godine upisuje Tehničku i industrijsku školu "Ruđer Bošković" u Sinju. Nakon završene srednje škole 2015. godine upisuje Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu te 2019. godine stječe diplomu sveučilišnog prvostupnika inženjera urbanog šumarstva, zaštite prirode i okoliša. Nakon završenog preddiplomskog studija, 2019. godine upisuje diplomski studij Šumarstvo, smjer Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnim gospodarenjem. Poznavanje engleskog i njemačkog jezika, B razine.

Ivan Brajković

Rođen 27. kolovoza 1996. godine u Makarskoj. Pohađao OŠ "Gradac" u Drveniku kod Makarske. Po završetku osnovne škole, upisuje opću gimnaziju u Makarskoj. 2015. godine upisuje Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, te 2019. godine stječe titulu prvostupnika inženjera urbanog šumarstva, zaštite prirode i okoliša. Nakon završetka preddiplomskog studija, upisuje diplomski studij Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnim gospodarenjem. Poznavanje engleskog, njemačkog i češkog jezika, B razine.

## PRILOZI

**Prilog 1.** Bio-klimatske varijable (Hijmans i sur. 2005).

BioClim ID	Opis varijable (mjerna jedinica)	Izvor
BIO1	prosječna godišnja temperatura (°C *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO2	prosječan raspon najviše i najniže temperature	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO3	izotermija (BIO2/BIO7) (* 100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO4	temperaturna sezonalnost (standardna devijacija *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO5	najviša temperatura najtoplijeg mjeseca (°C *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO6	najniža temperatura najhladnijeg mjeseca (°C *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO7	godišnji raspon temperatura (°C *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO8	srednja temperatura najvlažnijeg kvartala (°C *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO9	srednja temperatura najsušeg kvartala (°C *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO10	srednja temperatura najtoplijeg kvartala (°C *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO11	srednja temperatura najhladnijeg kvartala (°C *100)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO12	godišnja količina padalina (mm)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO13	količina padalina najvlažnijeg mjeseca (mm)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO14	količina padalina najsušeg mjeseca (mm)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO15	sezonska količina padalina (koeficijent varijabilnosti)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO16	količina padalina najvlažnijeg kvartala (mm)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO17	količina padalina najsušeg kvartala (mm)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO18	količina padalina najtoplijeg kvartala (mm)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>
BIO19	količina padalina najhladnijeg kvartala (mm)	<a href="http://www.worldclim.org">http://www.worldclim.org</a> , <a href="http://www.ccafs-climate.org">http://www.ccafs-climate.org</a>

**Prilog 2.** Deskriptivni statistički pokazatelji za devet istraživanih populacija rašeljke (*Prunus mahaleb* L.) u Hrvatskoj.

Značajka	Broj listova	Aritmetička sredina	Min	Max	Standardna devijacija	CV (%)
LA	1800	4,15	0,99	16,49	1,55	37,47
P	1800	7,63	4,10	16,40	1,53	20,11
FC	1800	0,88	0,53	1,34	0,11	12,58
BL	1800	2,75	1,47	5,86	0,53	19,42
MPW	1800	2,05	0,86	4,00	0,39	19,02
PMPW	1800	1,14	0,50	3,02	0,28	24,22
PW2	1800	0,46	0,20	1,51	0,19	41,43
LA1	1800	67,34	48,00	77,00	3,93	5,83
LA2	1800	52,56	40,00	63,00	3,88	7,38
PL	1800	1,44	0,49	3,90	0,53	36,75