

RAZNOLIKOST GORSKOG BRIJESTA (*Ulmus glabra* Huds.) NA PODRUČJU GORSKO-KOTLINSKE HRVATSKE PREMA MORFOLOŠKIM OBILJEŽJIMA LISTOVA

POPULATION VARIABILITY OF WYCH ELM (*Ulmus glabra* Huds.) IN THE MOUNTAINOUS REGION OF CROATIA ACCORDING TO THE LEAF MORPHOLOGY

Marko ZEBEC¹, Marilena IDŽOJTIĆ¹, Igor POLJAK¹, Ines MODRIĆ²

Sažetak

Istraživana je morfološka varijabilnost listova četiri populacije gorskog brijesta (*Ulmus glabra* Huds.) na području Gorsko-kotlinske Hrvatske: Delnice, Vrbovsko, Otočac, Gospić. Morfometrijsko istraživanje unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti provedeno je na osnovi 10 morfoloških svojstava listova, pri čemu su korištene multivarijatne i deskriptivne statističke metode. Zabilježena je visoka varijabilnost istraživanih morfoloških značajki, te se koeficijent varijabilnosti na razini svih populacija kretao od 11,94 % za svojstvo kuta, čiji je vrh baza kraće strane lista, a krakovi prolaze kroz točke na obodu lista, koje se nalaze na najvećoj širini plojke do 52,94 % za svojstvo bazalne asimetrije. Za većinu svojstava pokazalo se da je najveći dio ukupne varijance uvjetovan varijabilnošću između listova unutar stabla, dok je manji dio varijabilnosti alociran međupopulacijskoj razini. Primjenom klsterske analize potvrđen je trend diferencijacije populacija, te je ustanovljeno odvajanje populacije Gospić na vrlo visokoj razini. Stabla gorskog brijesta unutar populacije Gospić uzorkovana su u fitocenozi brdske bukove šume s mrtvom koprivom (*Lamio orvale-Fagetum sylvaticae* /Horvat 1938/ Borhidi 1963), dok su stabla populacija Delnice, Vrbovsko i Otočac uzorkovana u fitocenozi bukovo-jelovih šuma s mišjim uhom zapadnih Dinarida (*Omphalodo-Fagetum* /Tregubov 1957 corr. Puncer 1980/ Marinček et al. 1993).

KLJUČNE RIJEČI: *Ulmus glabra* Huds., varijabilnost, morfologija lista, Gorsko-kotlinska Hrvatska

UVOD INTRODUCTION

Gorski brijest (*Ulmus glabra* Huds.), vrlo vrijedna i višestruko cijenjena plemenita listača, naša je autohtona vrsta iz porodice *Ulmaceae* Mirb. nom. cons. Zauzima sjevernije položaje u odnosu na ostale europske vrste brijestova, tako

da u Skandinaviji seže sve do polarnog kruga, a u Rusiji do Urala. Rasprostranjen je i na britanskom otočju, te obuhvaća područja uz Crno i Egejsko more (Jalas i Souminen 1976, Schütt i sur. 1992). S obzirom na optimalne uvjete staništa, vrsta *U. glabra* je vezana uz gorska i planinska područja, tako da se javlja na lokalitetima do 1500 metara nadmorske visine. Preferira svježa, hranjivima bogata tla,

¹ doc. dr. sc. Marko Zebec, prof. dr. sc. Marilena Idžojtić, dr. sc. Igor Poljak, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, e-mail: mzebec@sumfak.hr; midzotic@sumfak.hr; ipoljak@sumfak.hr

² Ines Modrić, mag. ing. silv., UŠP Bjelovar, Šumarija Čazma, Hrvatske šume d.o.o., Milana Novačića 48, 43240 Čazma, e-mail: ines.modric@hrsume.hr

relativno je otporan na sjenu, mraz i niske temperature, ali ne podnosi stajaću vodu, što je opća značajka svojstvena rodu *Ulmus* L. (Trinajstić 1974, Janjić 1976). Fitocenološki gledano, pridolazi u zonalnim, mezofilnim i rjeđe termofilnim bukovim šumama, a karakteristična je vrsta azonalnih zajednica sveze *Tilio platyphylli-Acerion pseudoplatani* Klika 1955 (Vukelić 2012).

Drvo gorskog brijesta je tvrdo, teško i trajno, te se cijnilo još od davnina, posebice kao kolarsko i tokarsko drvo, osnova za izradu elemenata za pokućstvo, vodogradnju, parketa i pragova. Sporedni proizvodi od brijestovog drveta uključuju dobivanje potaše, lika za pletenje i vezanje, dok se kora koristila za štavljenje i žuto bojenje (Kišpatić 1980, Mechler 1989). Treba istaknuti upotrebu brijestovog lišća kao krme visoke trofičke vrijednosti za prehranu stoke (Brockmann-Jerosch 1936, Hejcmanová i sur. 2014).

Gorski se brijest s područja Skandinavije, Škotske, Engleske i srednje Europe prema taksonomskom tretmanu Lindquista (1931) diferencira na dva varijeteta. Varijetet *U. glabra* Huds. var. *scabra* (Mill.) Lindq., koji pridolazi u južnoj Engleskoj, južnoj Norveškoj i Švedskoj, Finskoj, Danskoj i srednjoj Europi, odlikuje se široko jajastim, tankim listovima i dlakavim izbojcima. Uskolisni varijetet *U. glabra* Huds. var. *montana* (Stokes) Lindq., karakterističan za sjevernu Englesku, Škotsku, sjevernu Norvešku i Švedsku, ističe se pak uskim i debljim listovima, te golim dvogodišnjim grančicama. Većina autora afirmira ili lagano modificira navedenu podjelu, s intervencijama vezanim uz različito shvaćanje važnosti pojedinih morfoloških značajki. Tako Tutin (1962) opisanim varijetetima pridaje rang podvrste, generirajući taksonomske jedinice *U. glabra* Huds. ssp. *glabra* Tutin, odnosno *U. glabra* Huds. ssp. *montana* (Lindq.) Tutin. Njemačka botaničarka Schreiber (1958) Lindquistov tretman dopunjuje još jednim varijetetom, koji vrlo brzo dobiva rang kultivara, dakle *U. glabra* 'Cornuta'.

Jednoznačno taksonomsko određenje svojti gorskog brijesta usložnjava pojava hibridizacije s nizinskim brijestom (*U. minor* Mill. sensu latissimo), što je u velikoj mjeri prisutno na području sjeverne Europe. Međuvrсни hibridi (*U. x hollandica* Mill.) su fertilni i rezultat su križanja čistih vrsta ili povratnih križanja, čime je spektar varijabilnosti morfoloških svojstava i morfoloških posebnosti novih jedinki unutar hibridnih rojeva vrlo visok, te nije ograničen na iskazivanje intermedijarnosti pojedinih folijarnih značajki. Shodno navedenom, uslijed nedostatka diskriminatornih morfoloških folijarnih značajki, nije moguće pouzdano odrediti konačan broj hibridnih jedinica između ove dvije vrste (Richens i Jeffers 1975, 1978; Melville 1978, Richens 1980, 1983; Jeffers 1996, Ramisch 1999).

Devastacija prirodnog staništa, poticana konverzijom šumskog u poljoprivredno zemljište zbog povoljne trofičke vrijednosti tala, kao i nagla promjena klimatskih parametara

kroz proces globalnog zatopljanja, predstavljaju veliku prijetnju stabilnosti genetskih resursa gorskog brijesta (Hollingsworth i sur. 2000, Goodall-Copestake i sur. 2005). U posljednjih stotinjak godina brijestovi su suočeni s holandskom bolešću brijesta, gljivičnim oboljenjem koje izazivaju fitopatogeni *Ophiostoma ulmi* (Buism.) Nannf. i *Ophiostoma novo-ulmi* Brasier. Posljedica ove bolesti su masovna sušenja adultnih stabala svih autohtonih europskih brijestova, a posebice gorskog i nizinskog brijesta (Brasier 2000, Webber 2000). U tom svjetlu se provodi većina dosadašnjih istraživanja gorskog brijesta, tako da je naglasak na utvrđivanju genetske varijabilnosti prirodnih populacija i selekciji otpornijih stabala kao osnove za patentiranje tolerantnih klonova (Heybroek 2000, Mittempergher i Santini 2004, Santini i sur. 2004). Kao rezultat istraživanja nastaje čitav niz kultivara, koji primjenu nalaze u urbanom šumarstvu. Najčešće se sade *U. glabra* 'Camperdownii', *U. glabra* 'Exoniensis', *U. glabra* 'Horizontalis', *U. glabra* 'Lutescens', *U. glabra* 'Crispa'.

Istraživanje genetske varijabilnosti gorskog brijesta izrazito je kompleksno zbog pojave hibridizacije s nizinskim brijestom na sjeveru Europe, a fokusirano je ponajprije na delimitiranje međuvrsnih hibrida i intraspecijskih jedinica ove svojte kao baze za daljna istraživanja otpornosti pojedinih klonova na holandsku bolest brijesta (Solla i sur. 2005). Tako Cox i sur. (2014) u Belgiji istražuju utjecaj međuvrstne hibridizacije i protoka gena od strane kultiviranih biljaka na evoluciju divljih svojti, te zaključuju indikaciju protoka gena između kultiviranih svojti prema autohtonim vrstama brijestova, što pak ima negativni utjecaj na genetsku strukturu brijestovih populacija. Gorski brijest u Hrvatskoj zauzima posebnu ekološku nišu, te nije prisutna mogućnost stvaranja hibridnih rojeva s nizinskim brijestom, kao što je to slučaj u sjevernoj Europi. Česta su istraživanja fiziologije pojedinih organa gorskog brijesta, posebice germinacije sjemenki (Cicek i Tilki 2006, 2007), mikropropagacije (Birošćiková i sur. 2004), kao i praćenje fenologije i visinskog prirasta stabala (Myking i Skrøppa 2007). Posebno su zanimljiva istraživanja trofičke vrijednosti brijestovog lišća kao krme koje provodi Hejcmanová (2014), gdje je utvrđeno da silaža gorskog brijesta, važan suplement za zimsku prehranu blaga, ima povoljniji nutritivni sastav nego primjerice hrastovi, jasenovi i lipe.

Prvi prikaz morfološke varijabilnosti svojte *U. glabra* na specijskoj razini u Europi, i to za područje Bosne i Hercegovine daje Janjić (1976), čime omogućuje inicijalni uvid u raznolikost prirodnih populacija gorskog brijesta. Nažalost, budući da je istraživanje bilo ograničeno na samo dvije prirodne populacije, njegovi rezultati nisu mogli dati sliku cjelokupnog spektra varijabilnosti ove vrste u Bosni i Hercegovini, a predstavljaju samo vrlo mali dio ukupnog mozaika morfološke raznolikosti gorskog brijesta u Europi.

S obzirom na činjenicu da u Hrvatskoj gorski brijest do sada nije bio predmet znanstvenih studija, ovim istraživanjem utvrdit će se međupopulacijska i unutarpopulacijska morfološka varijabilnost folijarnih značajki prirodnih populacija gorskog brijesta s područja Gorsko-kotlinske Hrvatske.

MATERIJAL I METODE MATERIAL AND METHODS

Područje istraživanja

Pri definiranju područja istraživanja imali smo u vidu činjenicu da gorski brijest u Hrvatskoj pridolazi u gorju savsko-dravskog međurječja, odnosno panonskom i peripanskom prostoru Hrvatske, kao i na prostoru šumskih zajednica Gorsko-kotlinske Hrvatske. S obzirom na bitno različite geomorfološke, orografske, pedološke, fitoceno-loške, a ponajprije klimatske odrednice ovih dvaju cjelina, odlučili smo se za zasebnu studiju morfološke varijabilnosti folijarnih značajki populacija gorskog brijesta na području panonske, odnosno Gorsko-kotlinske Hrvatske.

Gorsko-kotlinsku Hrvatsku definira krajnji sjeverozapadni dio Dinarida, pretežno je građena od mezozojskih vapnenaca, te je naglašeno odvojena od mediteranskog i peripansskog područja. Prema Paviću (2008) Gorsko-kotlinsku Hrvatsku čine goranski gorski masiv (Gorski kotar kao goranski prag), zatim kotlinski lički prostor (Lika) s reljefnim okvirom i Ogulinsko-plašćanska submontana udolina koja ima povezni i prijelazni značaj. Gorski se kotar odlikuje višim reljefom s prostorno ograničenim poljima i dolinama, dok u Lici dominira širi otvoreniji prostor s unutarnjim kotlinama (Krbava) i visoki reljef na rubovima i izoliranim humovima.

Lika i Gorski kotar spadaju u klasu klime Cfsbx², prema Köppenovoj klasifikaciji to je područje umjereno tople kišne klime, dok vršni dijelovi planina (viši od 1200 mnv) spadaju u tip hladne snježne šumske klime – Dfsbx² (Zaninović i sur. 2008). U tim područjima nema sušnih razdoblja, najviše oborine padne u mjesecu hladnog dijela godine (fs), a zimsko je kišno razdoblje široko rascijepano u jesensko-zimski i proljetni maksimum (x²). Prema Thornthwaiteovoj klasifikaciji klime baziranoj na odnosu količine vode potrebne za potencijalnu evapotranspiraciju i oborinske vode u Gorsko-kotlinskoj Hrvatskoj prevladava perhumidna klima (Pejnović 1990, Ugarković i Tikvić 2011).

Zbog velike orografske razvedenosti područja Like i Gorskog kotara, raspon srednjih godišnjih temperatura zraka na tom je području najveći, pa se srednja godišnja temperatura zraka u Lici kreće između 5°C i 9°C, a u Gorskom kotaru od 3°C do 11°C. U arealu dinarskih bukovo-jelovih šuma prosječna je godišnja temperatura između 7 i 8 °C, a ukupna godišnja količina oborina iznad 2000 mm (Bertović 1975, Seletković 2001).

Promjena ekoloških parametara staništa uslijed povećanja nadmorske visine

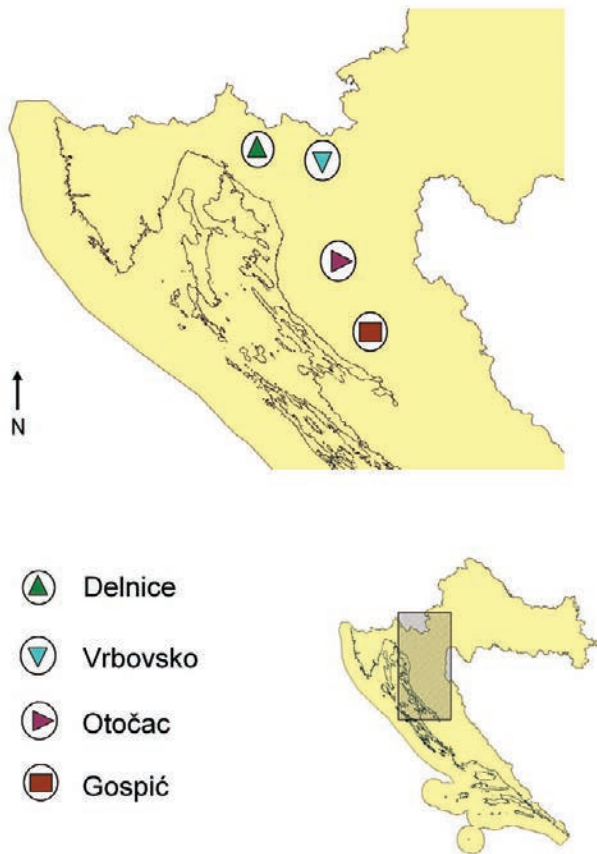
Odnos između topline zraka i šumske vegetacije, odnosno njezine visinske raščlanjenosti, definiran je pravilnošću u smislu termičkog gradijenta, što se manifestira opadanjem prosječne godišnje temperature zraka u hladnim i umjerenim područjima za 0,5 °C porastom visine za svakih 100 m. S porastom nadmorske visine povećava se i oblačnost, budući da velika isparavanja planinskih voda i vegetacije pridonose stvaranju oblaka. Pri većim nadmorskim visinama maksimum relativne vlage veći je u ljetnim, a manji u zimskim mjesecima. Vegetacijsko razdoblje unutar ekvidistance od 100 metara, skraćuje se prosječno za 11,5 dana (Vukelić i Rauš 1998).

Morfološka varijabilnost biljnih organa djelomično je uvjetovana genetskim faktorima, ali je doprinos okolišne komponente također iznimno značajan, što dokazuju rezultati brojnih istraživanja u domeni kvantifikacije adaptivnosti biljaka putem varijabilnosti fizioloških i morfoloških parametara na visinski gradijent (Cordell i sur. 1998, Coomes i Allen 2007, Akbarian i sur. 2011, Taleshi i Maasoumi Babarabi 2013, Gratani i sur. 2014). Može se zaključiti da porastom nadmorske visine dolazi do promjene klimatskih uvjeta staništa, što se pak reflektira u ekspresiji fenotipske plastičnosti morfoloških značajki pojedinih biljnih organa. Kako bismo eliminirali utjecaj porasta nadmorske visine na ekspresiju varijabilnosti, pri sabiranju uzoraka izričito smo se držali ekvidistance od 50 metara, dakle uzorkovanje je izvršeno unutar raspona nadmorske visine između 750 i 800 metara.

Izmjera i statistička analiza biljnog materijala

Materijal za morfometrijsku analizu sakupljen je u četiri prirodne populacije gorskog brijesta s područja Gorsko-kotlinske Hrvatske. Populacije obuhvaćene istraživanjem bile su: Delnice, Vrbovsko, Otočac, Gospić (slika 1). Sabrani su listovi s pet stabala po populaciji, dok je svako stablo bilo prezentirano s 30 zdravih i neoštećenih listova. Korišteni su subdistalni listovi kratkih fertilnih izbojaka osvjetljenog dijela krošnje, budući da se vršni, distalni listovi formiraju u sušno doba godine, što uzrokuje njihovu deformaciju, pa su neprikladni za izmjeru (Richens 1955). Listovi su sakupljeni krajem lipnja 2011. godine, dakle sredinom vegetacijskog razdoblja, kada su s obzirom na oblik i dimenzije u cijelosti razvijeni.

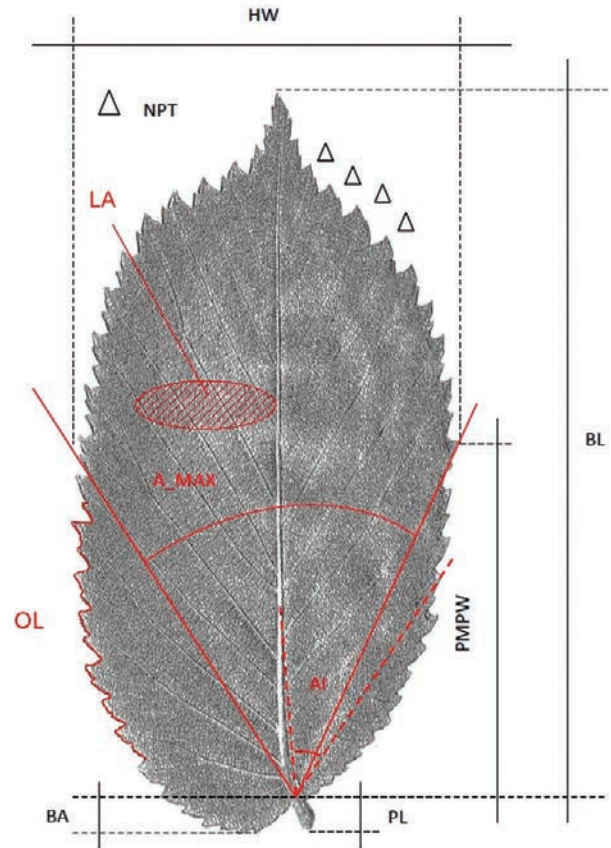
Nakon skeniranja, lišće je izmjereno programskim paketom ImageJ (Abramoff et al. 2004, Rasband 1997-2014). Ukupno je izmjereno 10 folijarnih svojstava (slika 2). Točnost mjerenja iznosila je 0,1 mm, a za svaki list mjerena su sljedeća svojstva: površina plojke (LA); maksimalna širina plojke (HW); duljina plojke, mjerena od baze plojke na kraćoj strani lista do mjesta najveće širine plojke (PMPW); kut koji zatvaraju glavna žila i linija definirana bazom plojke



Slika 1. Uzorkovane populacije.
Figure 1 Sampled populations.

kraće strane lista i točkom na obodu lista, koja se nalazi na mjestu prolaska treće sekundarne žile (AI); kut čiji je vrh baza kraće strane lista, a krakovi prolaze kroz točke na obodu lista, koje se nalaze na najvećoj širini plojke (A_MAX); broj primarnih zubaca subapikalne regije, mjereno od vrha lisne plojke do polovine duljine plojke kraće strane lista (NPT); duljina peteljke (PL); bazalna asimetrija, razmak između najnižih točaka dulje i kraće strane lista (BA); duljina plojke (BL); opseg lista (OL).

Trend izmjerenih morfoloških značajki opisan je putem deskriptivnih statističkih pokazatelja, pri čijem su izračunu korišteni standardni algoritmi deskriptivne statističke analize (Sokal i Rohlf 1989). Podaci su prikazani sljedećim procjeniteljima: aritmetička sredina (\bar{x}), standardna devijacija (SD), koeficijent varijabilnosti (CV). U svrhu utvrđivanja unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti gorskog brijesta, korištena je univarijatna analiza varijance (ANOVA). Analizirani faktori varijabilnosti bili su populacija i stablo, i to tako da je faktor stablo ugniježđen unutar faktora populacija. Ukoliko su između populacija postojale signifikantne razlike u vrijednostima aritmetičkih sredina za pojedina svojstva, a kako bi se utvrdilo koje se točno populacije međusobno signifikantno razlikuju, provedeno je i dodatno testiranje Fisherovim multiplim testovima (LSD)



Slika 2. Mjerena svojstva lista:

LA = površina plojke; HW = maksimalna širina plojke; PMPW = duljina plojke, mjerena od baze plojke na kraćoj strani lista do mjesta najveće širine plojke; AI = kut koji zatvaraju glavna žila i linija definirana bazom plojke kraće strane lista i točkom na obodu lista, koja se nalazi na mjestu prolaska treće sekundarne žile; A_MAX = kut čiji je vrh baza kraće strane lista, a krakovi prolaze kroz točke na obodu lista, koje se nalaze na najvećoj širini plojke; NPT = broj primarnih zubaca subapikalne regije, mjereno od apeksa do polovine duljine plojke kraće strane lista; PL = duljina peteljke; BA = bazalna asimetrija; BL = duljina plojke; OL = opseg lista.

Figure 2 Measured leaf traits:

LA = leaf blade area; HW = leaf blade breadth at its widest point; PMPW = leaf blade length, measured along the shorter side of lamina, starting from the leaf base to the point of maximum leaf breadth; AI = angle between the main leaf vein and the line defined by the leaf base, and the point where the leaf edge is touched by the third secondary leaf vein; A_MAX = angle between the main leaf vein and the line defined by the leaf base, and the point of the leaf edge where leaf lamina is widest; NPT = number of primary teeth, measured in the subapical region of the leaf, along the shorter side of lamina, starting from leaf apex to the point of 50 % of leaf blade length; PL = petiole length; BA = leaf base asymmetry; BL = blade length; OL = leaf perimeter.

za sve parove populacija. Također je provedena i razdjelba ukupne varijance, alociranjem izračunate komponente varijabilnosti pripadajućem izvoru (između populacija, između stabala unutar populacije, unutar stabla), za sva analizirana svojstva. U tu svrhu korištena je REML metoda (*Restricted Maximum Likelihood Method*).

Kako bi se odnos između promatranih populacija što bolje prikazao, korištena je i multivarijatna klasteraska statistička

Tablica 1. Parametri deskriptivne statistike za mjerena morfološka svojstva. Najveće i najmanje vrijednosti su podebljane.

Table 1 Descriptive statistical parameters for measured morphological traits. Maximum and minimum values are bolded.

Svojstvo Trait	Deskriptivni pokazatelji Statistical parameters	Delnice	Vrbovsko	Otočac	Gospić	Ukupno Total
LA	\bar{X} (cm ²)	21,28	21,47	18,92	25,10	21,69
	SD (cm ²)	6,66	6,92	5,86	7,80	7,18
	CV (%)	31,30	32,23	30,97	31,08	33,10
HW	\bar{X} (cm)	4,28	4,55	4,10	4,65	4,39
	SD (cm)	0,65	0,72	0,71	0,82	0,76
	CV (%)	15,19	15,82	17,32	17,63	17,31
PMPW	\bar{X} (cm)	3,35	3,07	3,02	3,37	3,20
	SD (cm)	0,71	0,67	0,61	0,71	0,69
	CV (%)	21,19	21,82	20,20	21,07	21,56
AI	\bar{X} (°)	50,52	62,46	52,31	50,27	53,89
	SD (°)	5,96	11,70	7,16	9,27	10,11
	CV (%)	11,80	18,73	13,69	18,44	18,76
A_MAX	\bar{X} (°)	65,89	72,68	67,31	70,40	69,07
	SD (°)	7,80	7,74	7,17	8,57	8,25
	CV (%)	11,84	10,65	10,65	12,17	11,94
NPT	\bar{X}	8,76	8,93	9,43	9,31	9,11
	SD	1,59	1,66	1,80	1,73	1,71
	CV (%)	18,15	18,59	19,09	18,58	18,77
PL	\bar{X} (cm)	0,47	0,43	0,42	0,41	0,44
	SD (cm)	0,16	0,15	0,13	0,14	0,15
	CV (%)	34,04	34,88	30,95	34,15	34,09
BA	\bar{X} (cm)	0,28	0,39	0,27	0,41	0,34
	SD (cm)	0,15	0,19	0,17	0,17	0,18
	CV (%)	53,57	48,72	62,96	41,46	52,94
BL	\bar{X} (cm)	7,08	6,80	6,62	7,35	6,96
	SD (cm)	1,25	1,25	1,08	1,26	1,24
	CV (%)	17,66	18,38	16,31	17,14	17,82
OL	\bar{X} (cm)	27,04	26,13	23,33	29,84	26,59
	SD (cm)	4,70	4,51	3,72	6,22	5,39
	CV (%)	17,38	17,26	15,95	20,84	20,27

analiza (McGarigal i sur. 2000). Klsterska analiza provedena je UPGMA (Unweighted Pair Group Average Method) metodom, pri čemu je korištena Euklidska udaljenost. Sve navedene statističke analize provedene su pomoću statističkog programa STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc. 2001).

REZULTATI RESULTS

Rezultati provedene deskriptivne statističke analize prikazani su po populacijama u tablici 1.

Populacija Gospić odlikovala se prosječno najvećom površinom plojke (LA), najvećim vrijednostima duljine plojke, mjerene od baze plojke na kraćoj strani lista do mjesta najveće širine plojke (PMPW), najširim i najduljim listnim plojkama (HW, BL), najizraženijom bazalnom asimetrijom (BA), kao i najvećom prosječnom vrijednošću opsega listova (OL). Istovremeno, populaciji Otočac bile su svojstvene najmanje vrijednosti navedenih varijabli. Najveću prosječnu

vrijednost kuta koji zatvaraju glavna žila i linija definirana bazom plojke kraće strane lista i točkom na obodu lista, koja se nalazi na mjestu prolaska treće sekundarne žile (AI) i kuta čiji je vrh baza kraće strane lista, a krakovi prolaze kroz točke na obodu lista, koje se nalaze na najvećoj širini plojke (A_MAX) imala je populacija Vrbovsko, dok su najmanje vrijednosti bile karakteristične za populaciju Gospić, odnosno Delnice. Listovi stabala populacije Otočac odlikovali su se najvećim brojem primarnih zubaca subapikalne regije (NPT), a stabla populacije Delnice najmanjim. Najdulje listne peteljke bile su karakteristične za populaciju Delnice, dok su za populaciju Gospić ustanovljene najmanje prosječne dimenzije tog svojstva (PL).

Visoki koeficijenti varijabilnosti (iznad 30 %) dobiveni su za svojstva: površina plojke (LA), duljina peteljke (PL), bazalna asimetrija (BA). Niski koeficijenti varijabilnosti bili su svojstveni varijablama: maksimalna širina plojke (HW), kut koji zatvaraju glavna žila i linija definirana bazom plojke kraće strane lista i točkom na obodu lista, koja se nalazi na

Tablica 2. Rezultati univarijantne analize varijance (ANOVA).

Table 2 Results of univariate analysis of variance (ANOVA).

Efekti – Effects		df	LA	HW	PMPW	AI	A_MAX
Populacija	F	3	9,09	2,81	4,61	4,82	2,04
Population	p		p<0,01	0,07	p<0,05	p<0,05	0,15
Stablo/populacija	F	16	2,37	7,76	2,45	20,56	15,59
Tree/population	p		p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01
Efekti – Effects		df	NPT	PL	BA	BL	OL
Populacija	F	3	0,44	0,36	1,70	4,16	9,46
Population	p		0,73	0,78	0,21	p<0,05	p<0,01
Stablo/populacija	F	16	16,06	15,36	27,50	2,64	5,37
Tree/population	p		p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01

mjestu prolaska treće sekundarne žile (AI), kut čiji je vrh baza kraće strane lista, a krakovi prolaze kroz točke na obodu lista, koje se nalaze na najvećoj širini plojke (A_MAX) i duljina plojke (BL).

Prema provedenoj analizi varijance, stabla unutar populacija signifikantno se razlikuju prema svim istraživanim svojstvima (tablica 2). Populacije se na razini signifikantnosti 0,05 razlikuju univarijatno za svojstvo duljine plojke, mjerene od baze plojke na kraćoj strani lista do mjesta najveće širine plojke (PMPW), kuta koji zatvaraju glavna žila i linija definirana bazom plojke kraće strane lista i točkom na obodu lista, koja se nalazi na mjestu prolaska treće sekundarne žile (AI) i duljinu plojke (BL), dok je na razini 0,01 razlikovanje bilo signifikantno za slijedeća svojstva: površina plojke (LA) i opseg lista (OL).

Razlikovanje populacija za svojstvo maksimalne širine plojke (HW), kuta čiji je vrh baza kraće strane lista, a krakovi prolaze kroz točke na obodu lista, koje se nalaze na najvećoj širini plojke (A_MAX), broja primarnih zubaca subapikalne regije (NPT), duljine peteljke (PL) i bazalne asimetrije (BA) nije bilo statistički značajno.

Budući da rezultati univarijantne analize varijance (ANOVA) potvrđuju postojanje statistički značajnih razlika između

populacija, i to za pet promatranih značajki, u nastavku je provedeno testiranje pomoću Fisherovih multiplih testova (LSD) između svih parova populacija, kako bi se utvrdilo koje se točno populacije međusobno razlikuju za pojedina svojstva (tablica 3). Prema dobivenim rezultatima može se uočiti da se za svojstvo površine plojke (LA) međusobno signifikantno razlikuju svi parovi populacija, osim Delnice – Vrbovsko i Delnice – Otočac. Ukoliko promatramo svojstvo duljine plojke, mjerene od baze plojke na kraćoj strani lista do mjesta najveće širine plojke (PMPW), signifikantno razlikovanje je prisutno za sve parove populacija, osim Delnice – Gospić i Vrbovsko – Otočac. Za svojstvo kuta koji zatvaraju glavna žila i linija definirana bazom plojke kraće strane lista i točkom na obodu lista, koja se nalazi na mjestu prolaska treće sekundarne žile (AI) populacija Vrbovsko se signifikantno razlikuje od ostalih populacija. Značajna razlika u duljini plojke (BL) bila je prisutna za parove populacija Vrbovsko – Gospić, odnosno Otočac – Gospić. Opsegom lista (OL) međusobno se nisu razlikovale samo populacije Delnice i Vrbovsko.

Za većinu svojstava pokazalo se da je najveći dio ukupne varijance uvjetovan varijabilnošću između listova unutar stabla, dok je manji dio varijabilnosti alocirano međupopulacijskom razini (tablica 4).

Tablica 3. Rezultati komparacije parova populacija za 5 svojstava, korištenjem Fisherovog LSD testa.

A = Delnice, B = Vrbovsko, C = Otočac, D = Gospić

Table 3 Results of populations pairwise comparisons for 6 traits by using Fisher LSD testing procedure.

A = Delnice, B = Vrbovsko, C = Otočac, D = Gospić

Komparacija populacija Comparison of populations	Svojstvo – Trait				
	LA	PMPW	AI	BL	OL
A – B	0,88	p<0,05	p<0,01	0,23	0,47
A – C	0,07	p<0,05	0,64	0,05	p<0,01
A – D	p<0,01	0,88	0,95	0,24	p<0,05
B – C	p<0,05	0,71	p<0,05	0,42	p<0,05
B – D	p<0,01	p<0,05	p<0,01	p<0,05	p<0,01
C – D	p<0,01	p<0,05	0,59	p<0,01	p<0,01

Tablica 4. Komponente varijance.**Table 4** Variance components.

Svojstvo Trait	Efekt – Effect (%)		
	Populacija Population	Stablo/populacija Tree/population	Unutar stabla Within the tree
LA	10,90	3,90	85,20
HW	7,08	17,09	75,83
PMPW	5,32	4,36	90,32
AI	24,06	29,97	45,97
A_MAX	6,75	30,52	62,73
NPT	0	31,27	68,73
PL	0	29,94	70,06
BA	6,37	43,92	49,71
BL	5,00	4,91	90,09
OL	20,91	10,06	69,03

Iz UPGMA dendrograma (slika 3) vidljivo je da su prema istraživanim svojstvima listova međusobno najbližnije populacije Delnice i Vrbovsko (usp. tablica 3), na koje se nadovezuje populacija Otočac. Ove tri populacije formiraju klaster, iza kojeg na najvećoj udaljenosti povezivanja slijedi populacija Gospić. Najjužnija populacija Gospić, geografski je i najudaljenija, te se morfološki značajno razlikuje od ostale tri populacije, što je posebno izraženo u odnosu na populacije Delnice i Vrbovsko (usp. tablica 3).

RASPRAVA I ZAKLJUČAK

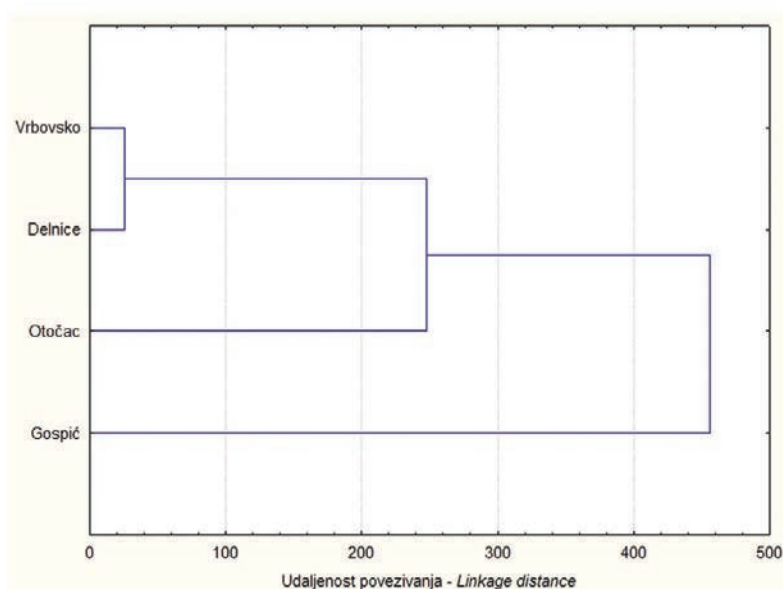
DISCUSSION AND CONCLUSION

Prema rezultatima deskriptivne statističke analize najvarijabilnije morfološke značajke listova gorskog brijesta na po-

dručju Gorsko-kotlinske Hrvatske, bile su površina plojke (LA), duljina peteljke (PL) i bazalna asimetrija (BA). Najmanje varijabilnim pokazala su se svojstva maksimalne širine plojke (HW), kut koji zatvaraju glavna žila i linija definirana bazom plojke kraće strane lista i točkom na obodu lista, koja se nalazi na mjestu prolaska treće sekundarne žile (AI), kut čiji je vrh baza kraće strane lista, a krakovi prolaze kroz točke na obodu lista, koje se nalaze na najvećoj širini plojke (A_MAX), kao i duljina plojke (BL).

Vrijednosti dobivene izmjerom listova u ovom istraživanju sveukupno su se kretale za duljinu plojke (BL) od 6,62 do 7,35 cm, odnosno za najveću širinu lista (HW) od 4,10 do 4,65 cm. Trinajstić (1974) iznoseći parametre deskriptivne morfologije za gorski brijest navodi raspon vrijednosti od 9 do 15 cm za duljinu plojke, odnosno od 6 do 8 cm za širinu plojke. Idžojić (2009) pak za duljinu plojke navodi vrijednosti od 9 do 10 (-16) cm, a širina plojke iznosi oko 6 cm, dok Krüssman (1978) opisuje listove od 5 do 16 cm duljine.

Vidljivo je da se podaci između pojedinih autora dosta razlikuju, no treba imati na umu činjenicu da su autori podatke preuzeli iz dostupne literature, a za potrebu općih morfoloških opisa gorskog brijesta, tako da nemaju osnovu u morfološkim istraživanjima. Prema istraživanjima Janjića (1976) duljina plojke gorskog brijesta kreće se između 8 i 18 cm, no budući da su istraživanja preliminarnog karaktera i ograničena na samo dvije populacije u Bosni i Hercegovini (Igman i Jahorina), ona nemaju pravi populacijski značaj. Također, iako Janjić izričito navodi da je protokol izmjere Richensa (1955), koji u obzir uzima isključivo subdistalne listove znatno bolji od ostalih autora, on se sam pri izmjeri ne pridržava optimalnog protokola, već mjeri subdistalne i distalne listove. Nadalje, Janjić (1976) tvrdi da bosansku populaciju gorskog brijesta karakterizira pretežnost



Slika 3. UPGMA dendrogram istraživanih populacija.
Figure 3 UPGMA tree diagram of researched populations.

svoji s relativnom širinom lista (odnos najveće širine lista i njegove duljine) od 0,45 – 0,50, te da je u njoj gotovo nemoguće naći primjerke sa širinom listova kakve je prikazao Lindquist (1931) kao varijetet *scabra*, a čija relativna širina iznosi preko 0,60. Isto tako naglašava da je vidljiva promjena dimenzija i proporcija listova i na jednom te istom stablu, kao i na jednom izbojku. Tako zapaža da je vršni (distalni) list gotovo uvijek objajast, subdistalni srazmjerno širi i s prema osnovi pomaknutim težištem, a sljedeći su još relativno širi i po veličini znatno manji (Janjić 1976).

Ukoliko varijablu relativne širine izračunamo za naš uzorak isključivo subdistalnih listova, ona prosječno za sve populacije iznosi 0,63, a kreće se između 0,60 za populaciju Delnice do 0,67 za populaciju Vrbovsko. Shodno navedenom, populacije gorskog brijesta u Hrvatskoj odlikuju se širokim listovima, što se po taksonomskom konceptu Tutina (1962) može definirati kao *U. glabra* Huds. ssp. *glabra* Tutin, podvrstom svojstvenom središnjim i južnim dijelovima Europe. Nadalje, izračunom indeksa objajnosti dobivamo prosječnu vrijednost od 0,46, i to od 0,45 za Vrbovsko do 0,47 za Delnice, što znači da se naše populacije odlikuju listovima najširim na sredini plojke.

Istraživanja koja provodi Janjić (1976), neosporno imaju veliku vrijednost za preliminarni uvid u varijabilnost gorskog brijesta u Bosni i Hercegovini i predstavljaju prvu studiju prirodnih populacija ove vrste u Europi. No, također je evidentno da su rezultati naših dvaju istraživanja, iako se i Hrvatska i Bosna i Hercegovina geografski nalaze u jugoistočnoj Europi, bitno različiti. Uzrok tomu možemo tražiti u drukčijem protokolu odabira listova za izmjeru, ali zasigurno i jednom neizravnom, no iznimno važnom i kritičnom čimbeniku varijabilnosti listova, koji Janjić kategorički zanemaruje, a to je – nadmorska visina.

Drveće gorskih područja vrlo često iskazuje dramatične promjene u morfologiji i fiziologiji uzduž visinskog gradijenta. Nekoliko okolišnih čimbenika varira sustavno s promjenom visine kao rezultat temeljnih fizikalnih procesa: ovi uključuju atmosferski tlak i parcijalne tlakove atmosferskih plinova, temperaturu zraka i atmosferski turbiditet. Štoviše, vrlo su česti regionalni ili lokalni uzorci variranja u količini oborina, izloženosti vjetru i drugim čimbenicima, uslijed čega dolazi do teškoća u interpretaciji visinske kline varijabilnosti. Ipak, opadanje temperature porastom nadmorske visine (adijabatska promjena temperature) ima najpredvidljiviji obrazac uopće, te ima najveći utjecaj na fiziološke procese biljaka (Thomas 2011).

U istraživanju visinske kline varijabilnosti Bresson i sur. (2011) konstatiraju izrazite fenotipske trendove variranja morfoloških značajki listova drvenastih vrsta s promjenom nadmorske visine. Usporedo s povećanjem nadmorske visine smanjuje se površina lisne plojke, dok se kontinuirano povećavaju fiziološki parametri kao što su fotosintetska ak-

tivnost, provodljivost puči i lisna masa po površini. Većina znanstvenika favorizira pristup po kojemu se kratkoročne promjene morfoloških značajki putem ekspresije fenotipske plastičnosti i fizioloških procesa smatraju za primarne inicijatore odgovora drvenastih vrsta na promjenjive uvjete okoliša (Cordell i sur. 1998, Premoli i Brewer 2007, Way i Oren 2010). Budući da predmet našeg istraživanja nije bila studija varijabilnosti u odnosu na promjenu nadmorske visine, odnosno varijabilnost *ad hoc*, ograničavanjem uzorkovanih populacija na nadmorsku visinu od 750 do 800 m, dakle unutar ekvidistance od 50 m, osigurano je da doprinos nadmorske visine kao izvora varijabilnosti u ukupnoj varijabilnosti bude zanemariv.

Na temelju rezultata univarijatne analize varijance i izračunatih komponenti varijance, alociranih pojedinim izvorima varijabilnosti, evidentno je da je unutarpopulacijska varijabilnost veća od međupopulacijske varijabilnosti. Razdjelbom ukupne varijabilnosti utvrđeno je da najveći udio otpada na komponentu ostatka koja se odnosi na varijabilnost listova unutar stabla, zatim na stabla unutar populacija, dok najmanji otpada na populacije. Sličan obrazac raspodjele ukupne varijabilnosti dobivaju i drugi autori prilikom istraživanja morfološke varijabilnosti listova drvenastih svojti (Franjić 1996, Kajba 1996, Škvorc 2003, Idžojtić i sur. 2006, Zebec i sur. 2010, Poljak i sur. 2014). Od ovog pravila vezano uz partitioniranje ukupne varijabilnosti odstupaju varijable LA, PMPW i OL, gdje je iznos varijabilnosti između stabala unutar iste populacije manji od iznosa varijabilnosti između uzorkovanih populacija.

Primjenom klusterske analize potvrđen je trend diferencijacije populacija, prethodno dobiven metodama deskriptivne statistike, odnosno analize varijance, te je ustanovljeno odvajanje populacije Gospić na vrlo visokoj razini. Međusobno najbližnje populacije bile su Vrbovsko i Delnice, koje su i geografski najbliže, te se nisu razlikovale za svojstvo lisne površine (LA), duljine plojke (BL) i opseg lista (OL). Diferencijaciju populacije Gospić i njeno formiranje zasebnog klastera u odnosu na ostale populacije, možemo objasniti posebnosti pridolaska gorskog brijesta na ovom lokalitetu. Stabla gorskog brijesta unutar populacije Gospić uzorkovana su u fitocenozi brdske bukove šume s mrtvom koprivom (*Lamio orvale-Fagetum sylvaticae* /Horvat 1938/ Borhidi 1963), dok su stabla populacija Delnice, Vrbovsko i Otočac, uzorkovana u fitocenozi bukovo-jelovih šuma s mišjim uhom zapadnih Dinarida (*Omphalodo-Fagetum* /Tregubov 1957 corr. Puncer 1980/ Marinček et al. 1993). Ekološki i klimatski parametri ovih dvaju fitocenoza bitno se razlikuju, što je definirano svrstavanjem bukovih šuma u brdski (montanski) pojas, odnosno bukovo-jelovih šuma u gorski (altimontanski) vegetacijski pojas eurosibirsko-sjevernoameričke vegetacijske regije. U tom svjetlu razvidno je i odvajanje populacije Gospić putem ekološko-geografskog načela. Indikativno je da se prema podacima glavnih

meteoroloških postaja za područje Gorsko-kotlinske Hrvatske, i to Gospić (564 mnv) i Parg (863 mnv), Lika odlikuje manjim vrijednostima srednje godišnje količine obovine i srednje godišnje naoblake, no istodobno i većim vrijednostima srednje godišnje ukupno doznačene sunčane energije i srednjeg godišnjeg osunčavanja (Zaninović i sur. 2008). U tom kontekstu moguća je analiza kauzalnosti diferencijacije promatranih populacija. S ciljem dobivanja što preciznijeg uvida u prirodu razdvajanja predmetnih populacija, a u okviru korelacije između morfoloških i ekoloških varijabli, potrebno je izvršiti detaljnu studiju stanišnih uvjeta lokaliteta uzorkovanja, kao i višegodišnje motrenje fenoloških faza referentnih stabala gorskog brijesta.

Na temelju provedenog istraživanja, koje je ujedno prva studija gorskog brijesta u Hrvatskoj, kvantificirana je unutarpopulacijska i međupopulacijska morfološka varijabilnost lisnih značajki ove vrste na području Gorsko-kotlinske Hrvatske. Ovo istraživanje predstavlja inicijalnu platformu za daljnja istraživanja i formiranje smjernica zaštite gorskog brijesta na području Hrvatske. Nastavak istraživanja obuhvatit će peripanonski i panonski prostor Hrvatske, čime će se dobiti sveobuhvatni uvid u raznolikost gorskog brijesta na cjelokupnom području njegove distribucije u našoj domovini.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENT

Zahvaljujemo svim djelatnicima šumarija UŠP Delnice i UŠP Gospić, koji su nam olakšali pronalaženje stabala gorskog brijesta na terenu. Rad je izrađen u okviru projekta „Očuvanje raznolikosti brijestova u Hrvatskoj“, te se Hrvatskim šumama d.o.o. najljepše zahvaljujemo na financijskoj potpori istraživanju.

LITERATURA REFERENCES

- Abramoff, M. D., P. J. Magalhaes, S. J. Ram, 2004: Image Processing with ImageJ, *Biophotonics International*, 11 (7): 36–42.
- Akbarian, M. R., M. Tabari, M. Akbarinia, M. Zarafshar, J. A. Meave, H. Yousefzadeh, A. Sattarian, 2011: Effects of elevational gradient on leaf and stomatal morphology of Caucasian alder (*Alnus subcordata*) in the Hyrcanian forest, Iran, *Folia Oecologica*, 38(1): 1–7.
- Bertović, S., 1975: Prilog poznavanju odnosa klime i vegetacije u Hrvatskoj, *Acta biologica*, 7 (2), *Prirodoslovna istraživanja JAZU* 41, 89–215, Zagreb.
- Birošćiková, M., K. Spišáková, Š. Lipták, V. Pichler, J. Đurkovič, 2004: Micropropagation of mature wych elm (*Ulmus glabra* Huds.), *Plant Cell Rep.*, 22 (9): 640–644.
- Brasier, C. M., 2000: Intercontinental spread and continuing evolution of the Dutch elm disease pathogens, U: C. P. Dunn (ur.), *The elms – Breeding, conservation and disease management*, Kluwer Academic Publishers, 61–72, Boston.
- Bresson, C. C., Y. Vitasse, A. Kremer, S. Delzon, 2011: To what extent is altitudinal variation of functional traits driven by genetic adaptation in European oak and beech? *Tree Physiol.*, 31(11):1164–1174.
- Brockmann-Jerosch, H., 1936: *Futterlaubbaume und Speisebaume*, Ber. Schweiz. Bot. Ges., 46: 594–613.
- Cicek, E., F. Tilki, 2006: Effects of temperature, light and storage on seed germination of *Ulmus glabra* Huds. and *U. laevis* Pall., *Pak. J. Biol. Sci.*, 9 (4): 697–699.
- Cicek, E., F. Tilki, 2007: Seed germination of three *Ulmus* species from Turkey as influenced by temperature and light, *J. Environ. Biol.*, 28 (2): 423–425.
- Coomes, D. A., R. B. Allen, 2007: Effects of size, competition and altitude on tree growth, *J. Ecol.*, 95: 1084–1097.
- Cordell, S., G. Goldstein, D. Mueller-Dubois, D. Webb, P. M. Vitousek, 1998: Physiological and morphological variation in *Metrosideros polymorpha*, a dominant Hawaiian tree species, along an altitudinal gradient: the role of phenotypic plasticity, *Oecologia*, 113 (2): 188–196.
- Cox, K., A. Vanden Broeck, K. Vander Mijnsbrugge, J. Buiteveld, E. Collin, H. M. Heybroek, J. Mergeay, 2014: Interspecific hybridization and interaction with cultivars affect the genetic variation of *Ulmus minor* and *Ulmus glabra* in Flanders, *Tree Genet. Genomes*, 10 (4): 813–826.
- Franjić, J., 1996: Morfometrijska analiza varijabilnosti lista posavskih i podravskih populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., Fagaceae) u Hrvatskoj, *Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb*.
- Goodall-Copstake, W. P., M. L. Hollingsworth, P. M. Hollingsworth, 2005: Molecular markers and ex situ conservation of the European elms (*Ulmus* spp.), *Biol. Conserv.*, 122: 537–546.
- Gratani, L., M. F. Crescente, V. D'Amato, C. Ricotta, A. R. Fratrotoli, G. Puglielli, 2014: Leaf traits variation in *Sesleria nitida* growing at different altitudes in the Central Apennines, *Photosynthetica*, 52 (3): 386–396.
- Hejcmanová, P., M. Stejskalová, M. Hejcman, 2014: Forage quality of leaf-fodder from the main broad-leaved woody species and its possible consequences for the Holocene development of forest vegetation in Central Europe, *Veg. Hist. Archaeobot.*, 23 (5): 607–613.
- Heybroek, H. M., 2000: Notes on elm breeding and genetics, U: C. P. Dunn (ur.), *The elms – Breeding, conservation and disease management*, Kluwer Academic Publishers, 249–258, Boston.
- Hollingsworth, P. M., M. L. Hollingsworth, M. Coleman, 2000: The European elms: Molecular markers, Population genetics, and Biosystematics, U: C. P. Dunn (ur.), *The elms – Breeding, conservation and disease management*, Kluwer Academic Publishers, 3–20, Boston.
- Idžojtić, M., 2009: *Dendrologija – List*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 904 str., Zagreb.
- Idžojtić, M., M. Zebec, D. Drvodelić, 2006: Varijabilnost populacija brekinje u kontinentalnom dijelu Hrvatske prema morfološkim obilježjima lišća i plodova, *Glas. šum. pokuse*, pos. izd. 5: 305–314.
- Jalas, J., J. Suominen, 1976: *Atlas Florae Europaeae. Distribution of vascular plants in Europe. Vol. 3: Salicaceae to Balanophoraceae*, The Committee for Mapping the Flora of Europe i Societas Biologica Fennica Vanamo, 128 str., Helsinki.

- Janjić, N., 1976: Prilog poznavanju domaćeg planinskog brijesta (*Ulmus glabra* Huds.), Šum. list, 100 (3–4): 142–154.
- Jeffers, J. N. R., 1996: Multivariate analysis of a reference collection of elm leaves, J. Appl. Stat., 23: 571–587.
- Kajba, D., 1996: Međupopulacijska i unutarpopulacijska varijabilnost breze (*Betula pendula* Roth.) u dijelu prirodne rasprostranjenosti u Republici Hrvatskoj, Glas. šum. pokuse, 33: 53–108.
- Kišpatić, J., 1980: Brestovina, U: Z. Potočić (ur.): Šumarska enciklopedija, Vol. 1 (A-GRAD), Jugoslavenski leksikografski zavod, 187–188, Zagreb.
- Krüssman, G., 1978: *Ulmus* L., Handbuch der Laubgehölze, 3: 427–437, Berlin-Hamburg.
- Lindquist, B., 1931: Two Varieties of North-West European *Ulmus glabra* Huds., Rep. Bot. Society Brit. Is., Vol. IX: 785, London.
- McGarigal K., S. Cushman, S. Stafford, 2000: Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research. Springer-Verlag, New York.
- Mechler, T., 1989: Das Holz der Ulme und seine heutige Verwendung, Holz-Zbl., 115: 1051–1053, 1242–1243, 1517–1518.
- Melville, R., 1978: On the discrimination of species in hybrid swarms with special reference to *Ulmus* and the nomenclature of *U. minor* Mill. and *U. carpinifolia* Gled., Taxon, 27: 345–351.
- Mittempergher, L., A. Santini, 2004: The history of elm breeding, Inv. Agrar.-Sist. Rec. F., 13(1): 161–177.
- Myking, T., T. Skrøppa, 2007: Variation in phenology and height increment of northern *Ulmus glabra* populations: Implications for conservation, Scand. J. Forest Res., 22 (5): 369–374.
- Pavić, R., 2008: Prilozi za dopunu i modifikaciju regionalizacije Republike Hrvatske, Geoadria, 13 (1): 19–40.
- Pejnović, D., 1990: Prilog poznavanju obilježja klime i klimatska regionalizacija Like, Acta Geogr. Croat., 25 (1): 1–22.
- Poljak, I., Idžojtić, M., Šapić, I., Vukelić, J., Zebec, M., 2014: Varijabilnost populacija bijele (*Alnus incana* /L./ Moench) i crne johe (*A. glutinosa* /L./ Gaertn.) na području Mure i Drave prema morfološkim obilježjima listova. Šum. list 138 (1-2): 7-17.
- Premoli, A. C., C. A. Brewer, 2007: Environmental vs genetically driven variation in ecophysiological traits of *Nothofagus pumilio* from contrasting elevations. Aust. J. Bot., 55: 585–591.
- Ramisch, H., 1999: Zum Problem der Artidentifizierung reiner Ulmenarten und deren Hybriden, Mitt. Deutsche Dendrol. Ges., 84: 95–107.
- Rasband, W. S., 1997–2014: ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>.
- Richens, R. H., 1955: Studies on *Ulmus* I, The range of variation of East Anglian elms, Watsonia, 3: 138–153.
- Richens, R. H., 1980: On fine distinctions in *Ulmus* L., Taxon, 29: 305–312.
- Richens, R. H., 1983: Elm, Cambridge University Press, 347 str., Cambridge.
- Richens, R. H., J. N. R. Jeffers, 1975: Multivariate analysis of the elms of northern France. I. Variation within France, Silvae Genetica, 24: 141–50.
- Richens, R. H., J. N. R. Jeffers, 1978: Multivariate analysis of the elms of northern France. II. Pooled analysis of the elm populations of northern France and England, Silvae Genetica, 27: 85–95.
- Santini A., A. Fagnani, F. Ferrini, L. Mittempergher, M. Brunetti, A. Crivellaro, N. Macchioni, 2004: Elm breeding for DED resistance, the Italian clones and their wood properties, Inv. Agrar.-Sist. Rec. F., 13 (1): 179–184.
- Schreiber, A. 1958: *Ulmus* L., Illustrierte Flora von Mitteleuropa, Bd. III/l. Lief. 4, Karl Hanser, 246–264, München.
- Schütt, P., H. J. Schuck, B. Stimm, 1992: Lexikon der Forstbotanik, Ecomed-Verlag, 581 str., Landsberg.
- Seletković, Z., 2001: Klima i hidrološke prilike u dinarskim jelovim šumama u Hrvatskoj. U: B. Prpić (ur.), Obična jela u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti, 133–146, Zagreb.
- Sokal, R. R., F. J. Rohlf, 1989: Biometry, Freeman and Co., 887 str., San Francisco.
- Solla A., J. Bohnens, E. Collin, S. Diamandis, A. Franke, L. Gil, M. Burón, A. Santini, L. Mittempergher, J. Pinon, A. Vanden Broeck, 2005: Screening european elms for resistance to *Ophiostoma novo-ulmi*, Forest Sci., 51 (2): 134–141.
- StatSoft, Inc., 2001: STATISTICA (data analysis software system), version 8.0.
- Škvorc, Ž., 2003: Morfološka i genetička varijabilnost hrastova medunca (*Quercus pubescens* Wild.) i duba (*Q. virgiliana* /Ten./ Ten.) u Hrvatskoj, Magisterij, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Taleshi, H., M. Massoumi Babarabi, 2013: Leaf morphological variation of *Quercus brantii* Lindl. along an altitudinal gradient in Zagros forests of Fars Province, Iran, Eur. J. Exp. Biol., 3(5): 463–468.
- Thomas, S. C., 2011: Genetic vs. phenotypic responses of trees to altitude. Tree Physiol., 31 (11): 1161–1163.
- Trinajstić, I., 1974: *Ulmus* L., U: S. Horvatić, I. Trinajstić (ur.): Analitička flora Jugoslavije, (1) 3, Institut za botaniku Sveučilišta u Zagrebu, 428 – 434, Zagreb.
- Tutin, T. G., 1962: *Ulmus* L., Flora of the British Isles, Cambridge University Press, 562–566, Cambridge.
- Ugarković D., I. Tikvić, 2011: Variation of climate in the region of Gorski kotar. Glas. šum. pokuse, 44: 55–64.
- Vukelić, J., Đ. Rauš, 1998: Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj, Šumarski fakultet Zagreb, 310 str., Zagreb.
- Vukelić, J., 2012: Šumska vegetacija Hrvatske, Šumarski fakultet Zagreb i Državni zavod za zaštitu prirode, 403 str., Zagreb.
- Way, D. A., R. Oren, 2010: Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. Tree Physiol. 30 (6): 669–688.
- Webber, J., 2000: Insect vector behavior and the evolution of Dutch elm disease, U: C. P. Dunn (ur.), The elms – Breeding, conservation and disease management, Kluwer Academic Publishers, 47–60, Boston.
- Zaninović, K., M. Gajić-Čapka, M. Perčec Tadić, i sur., 2008: Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000, Državni hidrometeorološki zavod, 200 str., Zagreb.
- Zebec, M., M. Idžojtić, I. Poljak, I. Mihaldinec, 2010: Varijabilnost nizinskog brijesta (*Ulmus minor* Mill. sensu latissimo) na području hrvatske Podravine prema morfološkim svojstvima listova, Šum. list, 134 (11–12): 569–580.

Summary

Spreading more up to north in relation to other European species of elm trees, the wych elm (*Ulmus glabra* Huds.) is a very valuable, noble hardwood species, taxonomically determined within *Ulmaceae* family. Given the optimal habitat conditions, *U. glabra* is related to the hill and mountain areas, so that it occurs at sites up to 1500 meters above sea level. From phytosociological point of view, it is a typical member of the zonal, mesophilic and rarely of the thermophilic beech forests, likewise it is a characteristic species in azonal communities of *Tilio platyphyllo-Acerion pseudoplatani* alliance.

The devastation of the natural habitat, stimulated by conversion of forest into agricultural land, as well as the sudden change of climate parameters through the process of global warming, pose a great threat to the stability of elm genetic resources. In the last hundred years elms have been faced with the Dutch elm disease pandemics, which resulted in mass yellowing of adult trees of all indigenous European elm species, especially *U. glabra* and *U. minor*. Consequently, emphasis of contemporary elm research is on quantification of genetic variability of natural elm populations and selection of hardy trees, in order to develop basis for the Dutch elm disease tolerant clones production.

It should be stressed that in Croatia, the wych elm has not been subject to scientific studies to date. In this research inter-population and intra-population morphological variability of foliar traits in natural populations of the wych elm from Mountainous Region of Croatia has been determined.

Material for the morphometric analysis was collected in four natural populations in the Mountainous Region of Croatia (Figure 1). Each population was represented by 5 trees and each tree by 30 healthy and undamaged leaves, collected from short fertile shoots of the outer, light-exposed part of tree top. The leaves were scanned and measured by the Image J programme. Ten foliar traits were defined and measured altogether (Figure 2).

The measured morphological traits were shown through descriptive statistical parameters. For determining the intra-population and inter-population variability, the univariate analysis of variance was used. For determining similarities or differences of analyzed populations on the basis of measured morphological leaf traits, multivariate statistical method – cluster analysis was used. These statistical analyses were conducted using the statistical programme STATISTICA 8.0

The results of the descriptive statistical analysis are given in Table 1, by population. According to the analysis of variance, trees within populations differ significantly on all analysed traits (Table 2). Populations differed significantly for variables: PMPW, AI, BL, LA, OL. Correspondingly to Fischer LSD-tests, all observed populations, except Delnice – Vrbovsko and Delnice – Otočac, showed significant differentiation for leaf area (LA) trait. Significant difference in blade length (BL) was confirmed for Vrbovsko – Gospić and Otočac – Gospić population pairs (Table 3). According to partitioning of variance, differences among trees in a single population accounted for the most of variability determined, while the remaining component, the amount of variation attributable to differences among populations proved to be considerably smaller (Table 4). UPGMA dendrogram elucidated that according to the researched leaf traits the most similar populations were Delnice and Vrbovsko, followed by population Otočac. These three populations formed a cluster, succeeded by the most distant population Gospić (Figure 3). The southernmost and geographically most distant population Gospić was morphologically significantly different from the other three populations, that was particularly observable in relation to Delnice and Vrbovsko population.

Differentiation of population Gospić and its formation of a separate cluster with regard to other populations, can be explained by specificity of incidence of *U. glabra* on this site. Wych elm trees from Gospić population grow in beech forests with deadnettle association (*Lamio orvalae-Fagetum sylvaticae* / Horvat 1938 / Borhidi 1963), while the plant material from populations Delnice, Vrbovsko and Otočac was sampled from trees growing in beech-fir forests (*Omphalodo-Fagetum* / Tregubov 1957 corr. Puncer 1980 / Marinček et al. 1993). Environmental and climatic parameters of these two communities differ considerably, therefore the separation of Gospić population can be clarified through ecological and geographical principle.

By means of conducted research, which is also the first study of *U. glabra* in Croatia, intra-population and inter-population morphological variability of leaf traits in Mountainous Region of Croatia is quantified. This study represents an initial groundwork for further research and encourages analytical approach to *U. glabra* vulnerability issues, that will eventually result in setting up of guidelines aiming to protect natural wych elm populations in Croatia.

KEY WORDS: *Ulmus glabra* Huds., variability, leaf morphology, Mountainous Region of Croatia