Baština Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

Simpozij zaštita šuma-stabilnost šumskih ekosistema: Dan šuma

Beus, Vladimir; urednik

2024-09

https://bastina.anubih.ba/handle/123456789/794

Preuzeto s Baštine Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

https://bastina.anubih.ba/

DOI: 10.5644/PI2024.211.16
Originalni naučni članak

Predikcijski model rasprostranjenosti crne johe (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) baziran na WorldClim bioklimatskim varijablama u Bosni i Hercegovini

Mirsada Starčević
Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet
E-mail: m.starcevic@sfsa.unsa.ba

Semir Delić
Kantonalno javno preduzeće za gospodarenje državnim šumama "Sarajevo-šume" d.o.o.

Azra Čabaravdić
Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet

Apstrakt: Crna joha (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) listopadno je drvo iz porodice brezovki (*Betulaceae*) koje se uglavnom javlja u nizijskim područjima u blizini vodnih tijela različitog režima plavljenja, često prateći riječne i manje vodene tokove, formirajući zajednice azonalnog karaktera u Bosni i Hercegovini.
Cilj istraživanja je razvijanje predikcijskog modela rasprostranjenosti staništa crne johe u Bosni i Hercegovini na osnovu poznatih i utvrđenih lokacija staništa crne johe i podataka WorldClim baze.
Kao osnovni materijal istraživanja korišteni su podaci sa vlastitih terenskih snimanja i iz drugih relevantnih dostupnih izvora. Klimatski podaci su preuzeti sa WorldClim baze podataka u obliku rasterskih slojeva za 19 bioklimatskih varijabli. Modeliranje je provedeno koristeći metod maksimalne entropije integrisan u MaxEnt računarski program. Izbor modela se zasnivao na predikcijskoj tačnosti modela i koherentnosti sa distribucijom staništa crne johe trenutnog i prethodnih istraživanja.
Dobiveni rezultati su potvrdili model veoma dobre predikcijske tačnosti na temelju kalibracije i validacije podataka subseta (AUC > 0,85). Varijable BIO6 (minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca) i BIO14 (oborine mjeseca s najmanje padavina) imaju statistički najveći značaj i uticaj za model prostorne rasprostranjenosti ekološke niše crne johe.
S obzirom na važne funkcije zajednica crne johe u prevenciji erozije, zaštiti od poplava i očuvanju biološke raznolikosti, dobiveni rezultati mogu doprinijeti upravljanju staništima crne johe. Rezultati predikcije staništa mogli bi se koristiti za daljnja istraživanja vezana za klimatske promjene i praćenje stabilnosti ekosistema.

Ključne riječi: crna joha, ekološka niša, klimatski elementi

Uvod

Crna joha (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) listopadno je vrsta iz porodice brezovki (*Betulaceae*) sa široko rasprostranjenim arealom u Evropi. Općenito se smatra tipičnom vrstom drveća nizijskih područja koja podnosi uvjete plavljenog tla i visok nivo podzemne vode, ali se može naći i na većim nadmorskim visinama sa širokim rasponom vlažnosti tla, kiselosti i statusa hranjivih tvari (MacVean, 1953; Maděra et al., 2008; Claessens et al., 2010; Caudullo et al., 2017; Milanović i Stupar, 2017).

U Bosni i Hercegovini, kao i u većini evropskih zemalja (izuzev sjeverno-centralne Evrope i Dunavske zaravni južno-centralne Evrope), šume crne johe su fragmentirane i obuhvataju oko 1% površine uglavnom u priobalnim riječnim područjima i dolinskim mikrolokacijama formirajući zajednice azonalnog karaktera mješovite strukture (Claessens et al., 2010). Prema podacima Dukić et al. (2012), ukupna površina šuma johe u Bosni i Hercegovini iznosi 22.600 hektara na prosječnoj visini od 300–330 metara nadmorske visine, od kojih su 70% izdanačke šume.

Za područje centralne i sjeverne Evrope zajednice poplavnih šuma johe izučavali su autori Bodeux, 1955; Solińska-Górnicka, 1987; Döring-Mederake, 1990; 1991; Prieditis, 1997; Paal et al., 2008; Douda, 2008; 2015). U južnoj Evropi objavljena su fitocenološka istraživanja za Hrvatsku (Horvat et al., 1974; Vukelić et al., 2006; 2017), Iberski poluotok (Amigo et al., 2004) te Italiju (Sburlino et al., 2011).

Šume crne johe nedovoljno su istražene u Bosni i Hercegovini i naučno-stručna Literatura rasprostranjenosti higrofilnih i poplavnih šuma u Bosni i Hercegovini dosta je oskudna. Poznavanje rasprostranjenosti crne johe u Bosni i Hercegovini temelji se na istraživanjima koja su vršili Fabijanić et al. (1963), Fukarek (1970), Barudanović i Redžić (2006), Milanović i Stupar (2017), Koljanin et al. (2023) sa ekološko-vegetacijskim i sintaksonomskim osvrtom, te razvojnim i proizvodnim komponentama (Alikalfić, 1998; Dukić et al., 2012) ovih šuma određenih zona Bosne i Hercegovine. Pojedini literaturni izvori daju vegetacijski pregled i klasifikaciju poplavnih šumskih zajednica određenih geografskih cjelina, uključujući i šume johe (Fukarek, 1957; Stefanović, 1969; Barudanović, 2003; Beus, 2008; Vojniković i Višnjić, 2018). Najnovije tematske karte s prostornom distribucijom i istraživačkim plohama diljem Evrope pokazuju da u središnjoj Bosni još uvijek nema sistematizovanih podataka o šumama crne johe.

Ekološki činioci koji pogoduju crnoj johi su humidniji karakter klime, dovoljna opskrba vodom tokom ljetnog perioda, pristupačnost podzemne vode ili visoke godišnje padavine i visoka zračna vlaga u slučaju nedostatka vode (Claessens et al., 2010). U Bosni i Hercegovini se najčešće javlja na aluvijalnim tlima dolina velikih rijeka i njihovih pritoka, oglejnim i močvarno-oglejnim zemljištima, staništima gdje je srednja godišnja temperatura 12–14°C, a srednja godišnja vlaga 85–95% (Alikalfić, 1998). Hemery et al. (2009) i Luedeling et al. (2011) ističu klimatske faktore: padavine i temperature, naročito sušu, kao limitirajuće faktore koji utiču na šume crne johe. Jedan od glavnih limitirajućih klimatskih uvjeta je prosječna dnevna temperatura iznad nule najmanje šest mjeseci godišnje (MacVean, 1953).

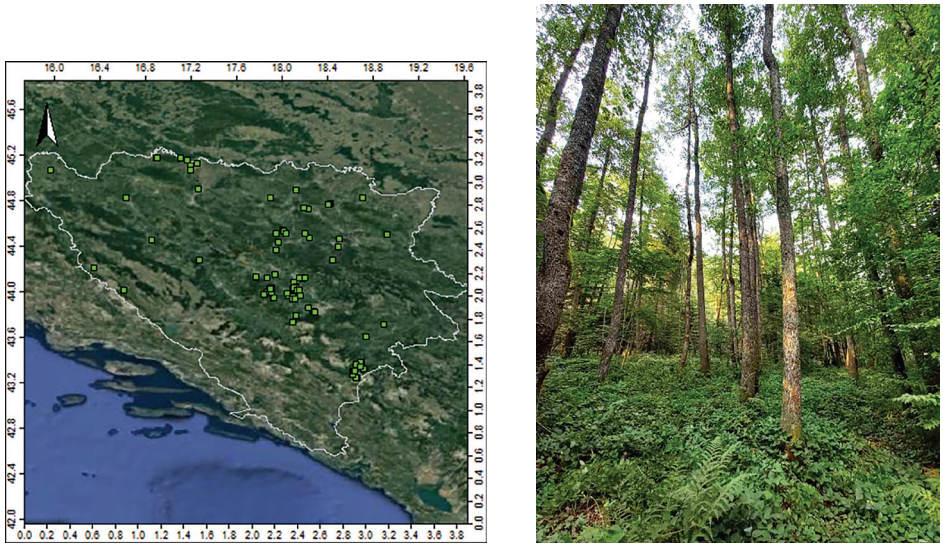
Higrofilne i poplavne šume tvrdih i mekih lišćara kojima pripada i joha su u Bosni i Hercegovini slabo očuvane i pod klimatskim i antropogenim pritiscima. To su veoma dinamični, osjetljivi i kompleksni ekosistemi specifičnog floristčkog sastava i zahtijevaju pažljivo upravljanje (Beus, 2008; Sallmannshofer et al., 2023). Zbog kompleksnih promjena u ekosistemima uzrokovanim klimatskim promjenama, predviđa se da će doći do promjene u distribuciji vrsta drveća (Vukelić et al., 2010; Chakraborty et al., 2021). Istraživanja ukazuju na to da će se sa sve toplijom klimom rasprostranjenost johe povlačiti sa juga i proširiti prema sjeveru zbog sve češćih suša na jugu (Hemery et al., 2009; Sakkali, 2017). Uticaj klimatskih promjena posebno je zabrinjavajući za južnoevropske i mediteranske populacije crne johe u riječnim slivovima naročito na toplijim granicama svog prirodnog areala (Palmer et al., 2008; Rojo et al., 2021). Vjerovatnoća povećanih poplava u velikim dijelovima Evrope, uključujući Bosnu i Hercegovinu, čini crnu johu zanimljivom vrstom za kontrolu erozije i poplava zbog njene tolerancije na vlažna tla.

Brojna su istraživanja rasprostranjenosti vrsta drveća i njihovih promjena pod uticajem klimatskih promjena u cijeloj Evropi. U tu svrhu se intenzivno koriste modeli distribucije vrsta ili modeli ekološke niše (Chakraborty et al., 2021) koji korelacijom poznate distribucije vrste i ekoloških faktora procjenjuju potencijalnu distribuciju.

Glavni cilj istraživanja je razvijanje prediktivnog modela rasprostranjenosti staništa crne johe s obzirom na klimatske faktore na području Bosne i Hercegovine. S tim u vezi su postavljeni sljedeći zadaci: (a) identifikacija i geolociranje trenutnih poznatih staništa crne johe, (b) analiza klimatskih varijabli i utvrđivanje značaja pojedinih varijabli u predikcijskom modelu te (c) mapiranje predikcije rasprostranjenja crne johe prema modelu najveće tačnosti.

Metode rada

Područje istraživanja obuhvata šumovita područja Bosne i Hercegovine. Specifičnije, to su staništa na nižim terasama i blagim padinama i priobalna područja većih rijeka i pritoka ravničarskog pojasa sa dominacijom crne johe u spratu drveća.



a. b.

Slika 1. Područje istraživanja (a. Bosna i Hercegovina sa prostornom distribucijom privremenih ploha, b. privremena ploha – lokacija Zavidovići)

Figure 1. Research area (a. Bosnia and Herzegovina with spatial distribution of temporary plots, b. temporary plot – location Zavidovići)

Podaci o rasprostranjenosti crne johe prikupljeni su direktno terenskim snimanjima staništa crne johe u Bosni i Hercegovini te na osnovu relevantnih i dostupnih izvora o lokalitetima prethodnih istraživanja (ukupno 130 privremenih ploha minimalne površine plohe oko 200 m^2). Dio geopozicija nalazišta crne johe utvrđen je vlastitim terenskim istraživanjem (65 geolokacija), dok su preostala nalazišta identifikovana na osnovu relevantne literature, i to staništa johe u širem području planine Vranica (Barudanović, 2003), u Posavini (Dukić et al., 2012; Koljanin et al., 2023), na području Nacionalnog parka Sutjeska (Milanović i Stupar, 2017; Koljanin et al., 2023) te u zapadnoj Bosni (Koljanin et al., 2023).

Klimatski podaci su preuzeti iz baze podataka WorldClim u obliku rasterskih slojeva za 19 bioklimatskih varijabli (https://www.worldclim.org/).

Tabela 1. Lista bioklimatskih varijabli (baza podataka WorldClim)
Table 1. List of bioclimatic variables (WorldClim database)

Varijabla	Opis varijable
BIO1	Srednja godišnja temperatura
BIO2	Srednji dnevni raspon temperature
BIO3	Izotermalnost
BIO4	Sezonska temperatura
BIO5	Maksimalna temperatura najtoplijeg mjeseca
BIO6	Minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca
BIO7	Srednja godišnja temperatura (Bio5 – Bio6)
BIO8	Srednja temperatura kvartala s najviše padavina
BIO9	Srednja temperatura najsušnijeg kvartala
BIO10	Srednja temperatura najtoplijeg kvartala
BIO11	Srednja temperatura najhladnijeg kvartala
BIO12	Godišnja količina padavina
BIO13	Oborine mjeseca s najviše padavina
BIO14	Oborine mjeseca s najmanje padavina
BIO15	Koeficijent varijacije s najmanje padavina
BIO16	Kvartal s najvišom količinom padavina
BIO17	Kvartal s najmanjom količinom padavina
BIO18	Količina oborina u najtoplijem kvartalu
BIO19	Količina oborina u najhladnijem kvartalu

Modeliranje je izvedeno koristeći metodu maksimalne entropije u sklopu računarskog programa MaxEnt (Phillips et al., 2004). Ovaj metod omogućava procjenu vjerovatnoće pojave istraživane vrste u datim (klimatskim) uvjetima ograničenja, pri čemu se vjerovatnoća izražava u rangu veličina između 0 (nije vjerovatna pojava vrste, tj. stanište je nepogodno za datu vrstu) i 1 (potpuno vjerovatna, gotovo sigurna pojava vrste, tj. staništa u potpunosti odgovaraju datoj vrsti). MaxEnt karta izlaznih podataka sa kumulativnim veličinama stope relativne pojave vrste podešena je na raspon veličina od 0 do 1. Ocjena funkcionalnosti predikcijskog modela podrazumijeva analizu i izbor najznačajnijih klimatskih varijabli koja se zasniva na testiranju značaja pojedinačnih varijabli u predikcijskom modelu. Tačnost modela evaluirana je analizom AUC (AUC – engl. *area under curve*) ispod tzv. ROC krivulje (engl. *receiver operating characteristic curve*) koja predstavlja odnos udjela poklapanja i nepoklapanja procijenjenih tačaka i tačaka za koje je ustanovljeno prisustvo

vrste u stvarnosti. Veća vrijednost od 0,7 ukazuje na dobro prilagođen model, vrijednost AUC veća od 0,8 ukazuje na izvrsno prilagođen model, dok se model sa veličinom AUC ispod 0,5 smatra loše prilagođenom modelu (Phillips et al., 2004; Walden-Schreiner et al., 2017).

Rezultati

U analizi su izdvojene četiri bioklimatske varijable sa najznačajnijom kontribucijom modelu rasprostranjenosti crne johe u Bosni i Hercegovini: maksimalna temperatura najtoplijeg mjeseca (°C), minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca (°C), oborine mjeseca s najviše padavina (mm) i oborine mjeseca s najmanje padavina (mm) (Tabela 2). Minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca sa 44,3% kontribucije modelu i oborine mjeseca sa najmanje padavina sa 38,4% kontribucije određene su kao bioklimatske varijable koje imaju statistički najveći značaj i uticaj za model prostorne rasprostranjenosti crne johe.

Tabela 2. Procentna kontribucija pojedinih bioklimatskih varijabli po modelu MaxEnt
Table 2. Percentage contributions of selected bioclimate variables to the MaxEnt model

Varijabla	Opis varijable	Procentna kontribucija	Značaj permutacije
BIO6	Minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca (°C)	44,3	30,8
BIO14	Oborine mjeseca s najmanje padavina (mm)	38,4	27,8
BIO13	Oborine mjeseca s najviše padavina (mm)	9,3	14,1
BIO5	Maksimalna temperatura najtoplijeg mjeseca (°C)	7,9	27,3

U narednoj tabeli su predstavljene deskriptivne statistike za najznačajnije bioklimatske varijable vezane za pojavu crne johe.

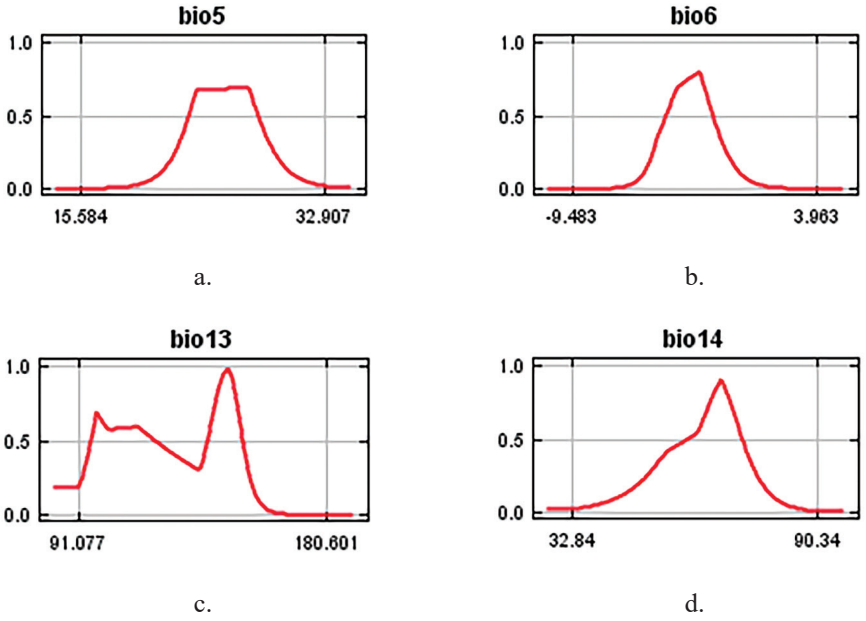
Tabela 3. Deskriptivna statistika za izdvojene varijable
Table 3. Descriptive statistics for selected variables

Varijabla	Opis varijable	Mean	Min.	Max.	RV(%)	95%
BIO5	Maksimalna temperatura najtoplijeg mjeseca (°C)	25,6	21,3	28,1	6,8	5,5
BIO6	Minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca (°C)	–3,6	–5,1	–2,5	2,7	2,5
BIO13	Oborine mjeseca s najviše padavina (mm)	120,0	96,3	145,2	48,9	47,5
BIO14	Oborine mjeseca s najmanje padavina (mm)	64,7	46,0	77,2	31,2	24,2

Uočava se da padavine variraju više od temperature. Raspon varijabiliteta temperatura najtoplijeg mjeseca (RV = 6,8) veći je od raspona varijabiliteta

temperature najhladnijeg mjeseca (RV = 2,7). Također, raspon varijabiliteta padavina najsušnijeg mjeseca (RV = 48,9) veći je od raspona varijabiliteta padavina najvlažnijeg mjeseca (RV = 31,2) (Tabela 3).

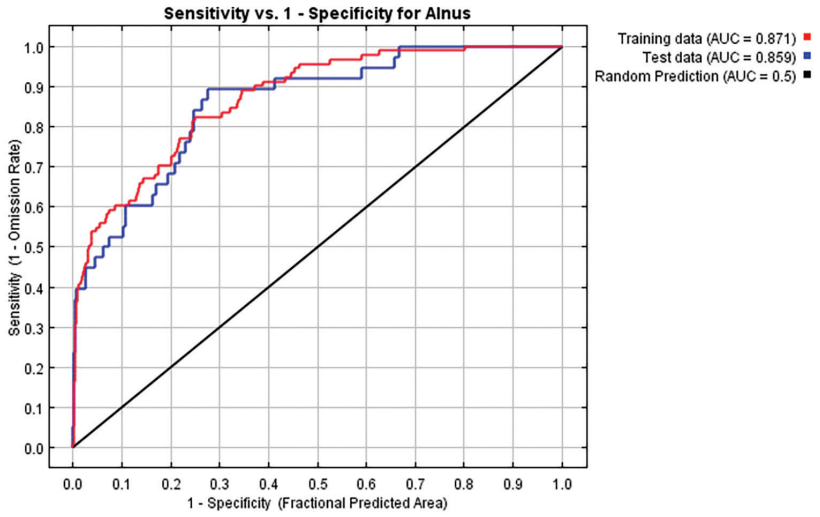
Elementi klimatske niše koja odgovara pojavi crne johe, odnosno ukazuje na pogodnost staništa za crnu johu, mogu se sagledati na slici procijenjenih vjerovatnoća u širem rasponu veličina bioklimatskih varijabli (Grafikon 1). Veća vjerovatnoća pojave johe procjenjuje se na staništima gdje se maksimalna temperatura najtoplijeg mjeseca kreće od 20°C do 28°C (oko 60% jednoliko u cijelom rasponu ovih veličina – zaravnjena krivulja Grafikon 1a). Kada je u pitanju minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca, vjerovatnoća pojave johe progresivno raste sa povećanjem ove temperature do oko –3°C, a zatim opada sa daljim rastom minimalne temperature najhladnijeg mjeseca (Grafikon 1b). Najveća fluktuacija vjerovatnoće pojave johe vezana je za oborine mjeseca sa najviše padavina, pri čemu je najveća vjerovatnoća prisustva johe na staništima sa prosječnom količinom padavina mjeseca sa najviše oborina oko 120 mm (Grafikon 1c). Uočava se moguća pojava johe i na staništima sa manjom količinom padavina najsušnijeg mjeseca. Grafikon 1d ukazuje na najveću vjerovatnoću pojave johe na staništima sa oko 65 mm oborina u mjesecu sa najmanje padavina.



Grafikon 1. Fluktuacija dominantnih bioklimatskih varijabli

Graph 1. Fluctuation of the dominant bioclimate variables

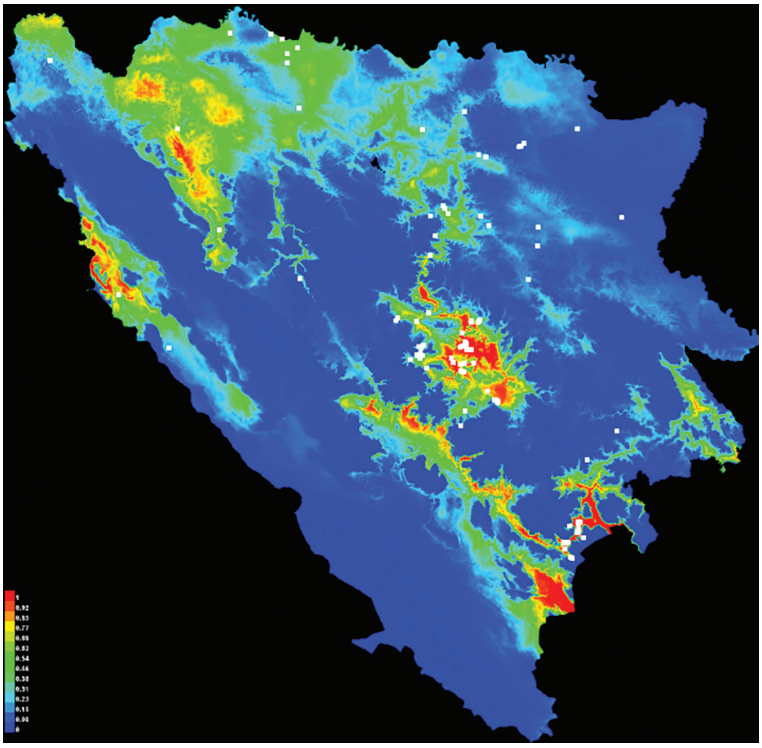
Na Grafikonu 2. je predstavljen prikaz tačnosti i pogodnosti predikcijskog modela MaxEnt. Evaluacija modela je zasnovana na podjeli uzorka na trening (podaci za određivanje modela) i test podatke (podaci za testiranje tačnosti modela) te je utvrđena izvrsna prilagođenost modela sa veličinama AUC iznad 0,80, i to za trening i test podatke 0,871 i 0,859 respektivno.



Grafikon 2. Procjena tačnosti i pogodnosti MaxEnt modela
Graph 2. Evaluation of the MaxEnt model accuracy and fit

Na karti 1. dat je prikaz predikcije prostorne rasprostranjenosti crne johe u Bosni i Hercegovini. Raspon vrijednosti piksela je od 0 do 1, od plave do crvene boje. Vrijednost bliže 0 i plava boja ukazuju na nisku vjerovatnoću pojave crne johe, dok je visoka vjerovatnoća pojave crne johe predstavljena crvenom bojom sa vrijednostima bliže 1. Bijeli kvadrati na karti predstavljaju privremene plohe sa crnom johom.

Na osnovu karte se uočava da je velika vjerovatnoća pojave johe u srednjebosanskom području posebno u sarajevsko-zeničkom rejonu, dijelovima sjeverozapadno i zapadnobosanskog područja, te nizijskim dijelovima jugoistočnobosanskog područja (Stefanović et al., 1983).



Karta 1. Potencijalna distribucija crne johe, tj. prikladnost staništa u BiH pomoću MaxEnta na osnovu klimatskih uvjeta

Map 1. Potential distribution of black alder i.e habitat suitability in B&H using MaxEnt based on climatic variables

Diskusija

U novije vrijeme predikcijski modeli rasprostranjenosti vrsta drveća daju nove informacije o prostornim pogodnostima pojave vrsta i koriste se u mnogim istraživanjima (Sykes et al., 1996; Zimmermann et al., 2010; Dyderski et al., 2018; Chakraborty et al., 2021; Sallmannshofer et al., 2021).

Metod MaxEnt se koristio i pokazao izuzetno značajnim za modeliranje vrsta i procjene okolišnih uticaja u istraživanjima (Vukelić et al., 2010; Gilani et al., 2020; Boškailo 2022). U ovom istraživanju rasprostranjenost crne johe unutar Bosne i Hercegovine modelirana je računarskim programom MaxEnt u koji su uključene bioklimatske varijable iz baze podataka WorldClim u cilju predstavljanja ekološke niše crne johe. U konkretnom istraživanju dobiveni rezultati potvrdili su model izvrsne predikcijske tačnosti (AUC > 0,85).

Vukelić et al. (2010), primjenjujući isti model za prostornu distribuciju glavnih vrsta drveća *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Pinus mugo*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Quercus petrea*, *Quercus ilex* i *Quercus pubescens* za područje Hrvatske, Slovenije i Bosne i Hercegovine dobili su vrijednosti uspješnog do veoma uspješnog modela (rang AUC 0,745–0,976). Za hrast lužnjak, koji može sa crnom johom graditi biljne zajednice, model je veoma uspješan (AUC = 0,927). Sallmannshofer et al. (2021) u istraživanju u prirodnom rezervatu Mura – Drava – Dunav korištenjem dva modela distribucije vrsta drveća *Alnus glutinosa*, *Fraxinus augustifolia*, *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra*, *Quercus robur*, *Ulmus laevis* i *Ulmus minor* dobili su vrijednosti tačnosti modela (*true skill statistic* – TSS) u variranju od 0,79 do 0,91 i od 0,99 do 1,00. Tačnost za regionalni model distribucije vrsta za crnu johu i hrast lužnjak bila je nešto manja, što upućuje na sinergiju uticajnih okolišnih faktora i kompleksnost riparijskih ekosistema u kojima se ove vrste javljaju.

Uticaj ekoloških faktora naročito je važan za osjetljive riparijske ekosisteme specifičnog florističkog sastava gdje mikropromjene mogu izazvati nestabilnost cijelog kompleksa i ekosistemskih usluga (Sallmannshofer et al., 2021). U ovom istraživanju ustanovljeno je da su najvažniji klimatski faktori: maksimalna temperatura najtoplijeg mjeseca, minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca, kao i oborine mjeseca sa najmanje padavina i oborine mjeseca sa najviše padavina, i predstavljaju limitirajuće faktore koji utiču na rasprostranjenje vrsta, što je konzistentno sa istraživanjem Vukelić et al. (2010). Minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca sa 44,3% kontribucije modelu i oborine mjeseca sa najmanje padavina sa 38,4% kontribucije određene su kao klimatske varijable koje imaju statistički najveći značaj i uticaj za model prostorne rasprostranjenosti crne johe. Ovi rezultati upućuje na potrebu crne johe za redovnim padavinama i temperaturama iznad nule najmanje 6 mjeseci godišnje (MacVean, 1953). Istraživanja pokazuju da su minimalne temperature važnije za pojavu i rast crne johe (Vacek et al., 2022) dok se na cjelokupnom arealu javljaju širi rangovi veličina srednje godišnje temperature (Houston-Durrant et al., 2016).

U istraživanju Vukelić et al. (2010) visok uticaj na model rasprostranjenosti hrasta lužnjaka ima maksimalna temperatura najtoplijeg mjeseca (kontribucija 50%) i količina padavina najvlažnijeg mjeseca (kontribucija 40%). Potvrđeno je da je 95% populacije hrasta lužnjaka u veoma uskom rangu maksimalne temperature najtoplijeg mjeseca i minimalne temperature najhladnijeg mjeseca upućujući na veoma usku ekološku valencu vrste u odnosu na klimatske faktore.

Rasprostranjenost određene vrsta je, osim klimatskim, limitirana i drugim ekološkim faktorima (Vukelić et al., 2010; Sakkali, 2017; Sallmannshofer et al., 2021). Vukelić et al. (2010) ističu važnost analize hidroloških faktora, kao i interakcije temperature i hidroloških faktora, prilikom procjene distribucije vrsta kao što je hrast lužnjak, na koju utiče podzemna i (manje) poplavna voda. Navedeno se može primijeniti i za crnu johu. Sakkali (2017) je u istraživanju rasprostranjenosti i migracije vrsta roda *Alnus* uključujući i crnu johu korištenjem modela prostorne rasprostranjenosti zaključio da kombinirano djelovanje klimatskih varijabli, tla i vegetacije ima najveći učinak na modeliranje potencijalne distribucije i migracije vrsta roda *Alnus*. Isključivo sami klimatski činioci možda neće tačno predvidjeti rasprostranjenost johe. Sallmannshofer et al. (2021) ističu značaj klimatskih faktora: jesenje maksimalne temperature, indeks godišnjih padavina, ljetna i godišnja količina vlage. Za riparijske ekosisteme, osim klimatskih varijabli, podjednako su bile važne i hidrološke varijable te, kao najvažniji, prediktori tla.

Dobivena prostorna predikcija rasprostranjenosti crne johe ukazuje na visoku saglasnost sa ustanovljenom rasprostranjenošću crne johe u okviru realne i potencijalne vegetacije u Bosni i Hercegovini (Stefanović et al., 1983).

Novija istraživanja ukazuju na to da će sa klimatskim promjenama doći i do promjene florističkog sastava i rasprostranjenosti vrsta (Sallmannshofer et al., 2021, Vukelić et al., 2010; Sakkali, 2017; Vojniković i Višnjić, 2018). Sakkali (2017) je modeliranjem predstavio da će vrsta roda *Alnus* migrirati uglavnom prema sjeveru na sjevernoj hemisferi. Sallmannshofer et al. (2021) također su korištenjem modela distribucije vrsta u rezervatu biosfere Mura – Drava – Dunav za pet od sedam ekonomski i ekološki važnih vrsta drveća, uključujući i crnu johu, utvrdili smanjenje vjerovatnoće pojavljivanja pod uticajem budućih promjena, što će vjerojatno dovesti do značajnih efekata na sastav i strukturu šuma, kao i na ekosistemske usluge.

Poznavanjem limitirajućih faktora moguće je modeliranjem projicirati buduće promjene u rasprostranjenosti staništa crne johe, čime bi se mogle planirati potencijalne mjere za prevenciju negativnih posljedica klimatskih promjena kao što su povećanje temperature i smanjenje padavina.

Zaključci

U ovom istraživanju procijenjena je rasprostranjenost crne johe u Bosni i Hercegovini primjenom modela MaxEnt na osnovu poznatih i utvrđenih lokacija staništa crne johe i klimatskih podataka baze WorldClim.

Rezultati su potvrdili model veoma dobre predikcijske tačnosti na temelju kalibracije i validacije podataka subseta (AUC > 0,85). Varijable BIO06 (minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca) i BIO14 (oborine mjeseca sa najmanje padavina) imaju statistički najveći značaj i uticaj na formiranje modela prostorne rasprostranjenosti crne johe. Istraživanje je potvrdilo činjenicu da, kad su u pitanju klimatski uticaji, temperatura i padavine definišu i kontrolišu prisustvo i distribuciju crne johe.

U narednim istraživanjima trebalo bi uključiti hidrološke komponente kao diferencijalni aspekt rasprostranjenosti staništa crne johe. Pored toga, s obzirom na kompleksnost stanišnih uvjeta, bilo bi potrebno razmotriti ulogu i uticaj ostalih okolišnih faktora (geomorfologije, geologije, pedologije, interakcije zajednica johe sa ostalom vegetacijom i drugih).

Rezultati istraživanja značajni su za istraživanja vezana za klimatske promjene i praćenje stabilnosti ekosistema. S ovim saznanjima u budućnosti moguće je sa najnovijim klimatskim podacima za Bosnu i Hercegovinu i predikcijama identifikovati postojeća ugrožena staništa kao i lokacije novih potencijalnih staništa crne johe. Smatra se da je jedna od najvažnijih mjera upravljanja šumama upravo odabir vrsta drveća koje mogu da podnesu i smanje negativne posljedice klimatskih promjena. Rezultati ovog istraživanja mogu imati potencijal kao dio strategijskih i ekološki održivih rješenja upravljanja staništima crne johe za smanjenje negativnih posljedica klimatskih promjena, od povećanja biodiverziteta do ublažavanja posljedica poplava, kao integralne vrsta priobalnih staništa.

Literatura

Alikalfić, F. (1998): Johe uz obale naših vodotoka i njihov značaj za kvalitet životne sredine, Radovi Šumarskog fakulteta, 1, Sarajevo, 1-17.

Amigo, J., Izco, J., Romero, M. I. (2004): Swamp alder woodlands in Galicia (NW Spain): phytosociological interpretation. Ecological and floristic contrast to western European swamp woodlandsand delimitation versus riparian alder woodlands in southern Europe and northern Africa, Phytocoenologia, 34 (4), 613-638.

Barudanović, S. (2003): Ekološko-vegetacijska diferencijacija lišćarsko-listopadnih šuma planine Vranice, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.

Barudanović, S., Redžić, S. (2006): Forest ecosystems of Mountain Vranica with priority on programmes of conservation, u: Management of Forest Ecosystems in National Park and Other Protected Areas, proceedings, Jahorina – Tjentište Bosnia i Herzegovina, July 05. – 08. 2006, Šumarski fakultet, Banja Luka, 87-93.

Beus, V. (2008): Bosnia and Herzegovina, u: Klimo, E., Hager, H., Matič, S., Anič, I., Kulhavý, J. (ur.) Floodplaine forests of the temperate zone of Europe, Lesnická práce, s.r.o., Kostelec nad Černymi lesy.

Bodeux, A. (1955): *Alnetum glutinosae*, Mitteilungender Floristisch-soziologischen Arbeitsgemein-schaft, 5, Stolzenau/Weser, 114-137.

Boškailo, A., Đug, S., Trakić, S., Drešković, N., Muratović, E., Boškailo, S., Miličević M. (2022): Distribucija, horologija i prediktivno modeliranje vrste *Pueraria montana* var. *lobata* (Willd.) Sanjappa & Pradeep u Bosni i Hercegovini, Radovi Poljoprivredno-prehrambenog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, LXVII (72/1), 57-68.

Caudullo, G., Welk, E., Miguel-Ayanz, J. S. (2017): Chorological maps for the main European woody species, Data in Brief, 12, 662-666.

Chakraborty, D., Móricz, N., Rasztovits, E. et al. (2021): Provisioning forest and conservation science with high-resolution maps of potential distribution of major European tree species under climate change, Annals of Forest Science, 78, 26.

Claessens, H., Oosterbaan, A., Savill, P., Rondeux, J. (2010): A review of the characteristics of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and their implications for Silvicultural Practices, Forestry, 83 (2), 163-175.

Döring-Mederake, U. (1990): Alnion forests in Lower Saxony (FRG), their ecological requirements, classification and position within *Carici elongatae-Alnetum* of Northern Central Europe, Vegetatio, 89, 107-119.

Döring-Mederake, U. (1991): Feuchtwälder im nordwestdeutschen Tiefland, Scripta Geobotanica 19, 1-122.

Douda, J. (2008): Formalized classification of the vegetation of alder carr and flood plain forests in the Czech Republic, Preslia, 80, 199-224.

Douda, J. et al. (2015): Vegetation classification and biogeography of European floodplain forests and alder carrs, Applied Vegetation Science, 19, 147-163.

Dukić, V., Maunaga, Z., Cvjetkovic, B. (2012): Razvojne karakteristike sastojina crne johe u Republici Srpskoj, Glasnik Šumarskog fakulteta u Banjoj Luci, 16, 61-76.

Dyderski, M. K., Paź, S., Frelich, L. E., Jagodziński, A. M. (2018): How much does climate change threaten European forest tree species distributions?, Glob Chang Biol, 24, 1150-1163.

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., Yates, C. J. (2010): A statistical explanation of Maxent for ecologists, Diversity and Distributions, 17 (1), 43-57.

Fabijanić, B., Fukarek, P., Stefanović, V. (1963): Lepenica – Pregled osnovnih tipova šumske vegetacije, u: Lepenica: priroda, stanovništvo, privreda i zdravlje, Posebna izdanja, knj. 3, Naučno društvo SR BiH, Sarajevo, 85-129.

Fukarek, P. (1957): Fitocenološka raspodjela bosanskog i hercegovačkog krša, u: Savezno savjetovanje o kršu, Split, 1957. 3, Krš Bosne i Hercegovine, Šumarsko društvo NR Hrvatske, Zagreb, 139-144.

Fukarek, P. (1970): Šumske zajednice prašumskog rezervata Perućice u Bosni, u: Simpozijum Južnoevropske prašume i visokoplaninska flora i vegetacija istočnoalpsko-dinarskog prostora, 14–19. juli 1969. godine, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, Posebna izdanja, knj. XV, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, knj. 4, ANUBiH, Sarajevo, 157-262.

Gilani, H., Arif Goheer, M., Ahmad, H., Hussain, K. (2020): Under predicted climate change: Distribution and ecological niche modelling of six native tree species in Gilgit-Baltistan, Pakistan, Ecological Indicators, 111, 106049.

Guisan, A., Thuiller, W., Zimmermann, N. E. (2017): Habitat suitability and distribution models with applications in R, Cambridge Univ. Press.

Hemery, G. E., Clark, J. R., Aldinger, E., Claessens, H., Malvolti, M. E., O'Connor, E., Raftoyannis, Y., Savill, P. S., Brus, R. (2009): Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: a review of risks and opportunities, Forestry, 83 (1), 65-81.

Horvat, I., Glavač, V., Ellenberg, H. (1974): Vegetation Südosteuropas, Geobotanica selecta, Band IV, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Houston-Durrant, T., de Rigo, D., Caudullo, G. (2016): *Alnus glutinosa* in Europe: distribution, habitat, usage and threats, u: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (ur.) European Atlas of Forest Tree Species, Eur. Comm., Luxenbourg, 64-65.

Koljanin, D., Brujić, J., Carni, A., Milanović, Đ., Škvorc, Ž., Stupar, V. (2023): Classification of Wetland Forests and Scrub in the Western Balkans, Diversity, 15, 370.

Luedeling, E., Girvetz, E. H., Semenov, M. A., Brown, P. H. (2011): Climate Change Affects Winter Chill for Temperate Fruit and Nut Trees, PLoS ONE, 6, e20155.

MacVean, D. (1953): *Alnus glutinosa* (L) Gaertn., J. Ecol., 41, 447-466.

Maděra, P., Vukelić, J., Buček, A., Baričević, D. (2008): Floodplain forest plant communities, u: Klimo, E., Hager, H., Matić, S. et al. (ur.) Floodplain forests of the temperate zone of Europe, Lesnická práce, Kostelec nad Černimi lesy, 102-159.

Milanović, Đ., Stupar, V. (2017): Riparian forest communities along watercourses in the Sutjeska national park (SE Bosnia and Herzegovina), Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, 226, 95-111.

Paal, J., Prieditis, N., Rannik, R., Jeletsky, E. M. (2008); Classification structure of floodplain forests in Estonia: a comparison of two classification approaches, Ann. Bot. Fen., 45, 255-268.

Palmer, M. A. et al. (2008): Climate change and the world's river basins: anticipating management options, Frontiers in Ecology and the Environment, 6, 81-89.

Phillips, S. J., Dudík, M., Schapire, R. E. (2004): A maximum entropy approach to species distribution modeling, s. l., ACM Press.

Prieditis, N. (1997): *Alnus glutinosa* – dominated wetland forests of the Baltic Region: community structure, syntaxonomy and conservation, Plant Ecology, 129, 49-94.

Rojo, J. et al. (2021): The effects of climate change on the flowering phenology of alder trees in southwestern Europe, Mediterranean Botany, 42, e67360.

Sakkali, A. (2017); Simulation of potential distribution and migration of *Alnus* spp. under climate change, Applied Ecology and Environmental Research, 15, 1039-1070.

Sallmannshofer, M., Chakraborty, D., Vacik, H., Illés, G., Löw, M., Rechenmacher, A., Lapin, K., Ette, S., Stojanović, D., Kobler, A., Schueler, S. (2021): Continent-wide tree species distribution models may mislead regional management decisions: A case study in the transboundary Biosphere Reserve Mura – Drava – Danube, Forests, 12 (3), 330.

Sallmannshofer, M., Damjanić, R., Vacik, H., Westergren, M., Baloh, T., Božič, G., Ivanković, M., Kovács, G., Lanšćak, M., Lapin, K., Nagy, L., Ostoić, S. K., Orlović, S., Stojnić, S., Železnik, P., Zlatković, M., Schueler, S. (2023): Forest managers' perspectives on environmental changes in the biosphere reserve Mura – Drava – Danube, Frontiers in Forests and Global Change, 6, 1160166.

Sburlino, G., Poldini, L., Venanzoni, R., Ghirelli, L. (2011): Italian black alder swamps: Their syntaxonomic relationships and originality within the European context, Plant Biosystems, 145, 148-171.

Solińska-Górnicka, B. (1987): Alder (*Alnus glutinosa*) carr in Poland, Tuexenia, 7, 329-346.

Stefanović, V. (1969): Osnovi tipologije šuma (za studente Šumarskog fakulteta u Sarajevu – skripta – 1 izdanje), Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet.

Stefanović, V. et al. (1983): Ekološko-vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine, Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, 17, 1-83.

Sykes, M. T., Prentice, I. C., Cramer, W. (1996): A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates, J Biogeogr, 23, 203-233.

Vacek, Z., Vacek, S., Cukor, J., Bulušek, D. et al. (2022): Dendrochronological data from twelve countries proved definite growth response of black alder (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) to climate courses across its distribution range, Central European Forestry Journal, 68 (3), 139-153.

Vojniković, S., Višnjić, Ć. (2018): Poplavne šume u kraškom području submediterana Hercegovine, u: Zbornik radova Simpozij Poljoprivreda i šumarstvo na kršu mediteransko-submediteranskog istočnojadranskog područja – stanje i perspektive, Sarajevo, 5. juna/ lipnja 2018. godine (ur. Šarić, T., Beus, V.), Posebna izdanja, knj. CLXXVI, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, knj. 27, ANUBiH, Sarajevo.

Vukelić, J., Baričević, D., List, Z., Šango, M. (2006): Prilog fitocenološkim istraživanjima šuma crne johe (*Alnus glutinosa* Geartn) u Podravini, Šumarski list, 130 (11–12), 479-492.

Vukelić, J., Šapić, I., Alegro, A., Šegota, V., Stankić, I., Baričević, D. (2017): Phytocoenological analysis of grey alder (*Alnus incana* L.) forests in the Dinarides of Croatia and their relationship with affiliated communities, Tuexenia, 37, 65-78.

Vukelić, J., Vojniković, S., Ugarković, D., Bakšić, D., Mikac, S. (2010): The influence of climate change on tree species distribution in south-east Europe, u: Simard, S. (ur.) Climate Change and Variability, Sciyo, 211-224.

Walden-Schreiner, C., Leung, Y. F., Kuhn, T., Newburger, T., Tsai, W. L. (2017): Environmental and managerial factors associated with pack stock distribution in High Elevation Meadows: Case Study from Yosemite National Park, Journal of Environmental Management, 193, 52-63.

Wang, Z., Chang, Y. I., Ying, Z., Zhu, L., Yang, Y. (2007): A parsimonious threshold-independent protein feature selection method through the area under receiver operating characteristic curve, Bioinformatics, 23 (20), 2788-2794.

Zimmermann, N. E., Edwards, T. C., Graham, C. H. et al. (2010): New trends in species distribution modelling, Ecography (Cop), 33, 985-989.

Predictive spatial distribution model of black alder (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) based on WorldClim bioclimatic variables in Bosnia and Herzegovina

Summary: The black alder (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) is a particularly important tree species widely distributed in Europe tolerant to water access with great environmental potential. This member of the family *Betulaceae* populates the riversides and lowlands of Europe and further. In Bosnia and Herzegovina black alder forests cover about 1% of the surface, mostly fragmented in valley microlocations and riparian zones forming azonal communities. Alder and other floodplain communities have been significantly studied in central and northern Europe, while studies in Bosnia and Herzegovina are scarce. Previous studies indicate that in an ever-warmer climate the habitat of the black alder will generally expand north, while simultaneously retracting from the south due to increased droughts. Increased flooding due to climate change in large parts of Europe, including Bosnia and Herzegovina, makes the black alder an interesting species to consider for erosion and flood control due to its tolerance of humid soils. This research aimed to develop a predictive spatial model of black alder habitats distribution in Bosnia and Herzegovina based on known black alder habitat locations and climate data.

Data were obtained from 130 temporary plots across Bosnia and Herzegovina and WorldClim database in the form of raster layers for 19 bioclimatic variables. Modelling was performed using the maximal entropy method integrated into the software MaxEnt. The obtained results confirmed the model with very good prediction accuracy based on the calibration and validation of the subset data (AUC>0.85). MaxEnt was used and proved extremely important for species modeling and environmental impact assessment in different research. In this study, the WorldClim variables BIO06 (the minimal temperature of the coldest month of the year) and BIO14 (precipitation during the driest month of the year) were found to have the highest statistical significance and therefore influence on the model of the spatial extent of the ecological niche of the black alder. Research indicates that the combined effect of climate variables and other environmental predictors, particularly hydrology variables, has the greatest effect on modelling the potential distribution and migration of *Alnus* species.

Regarding the importance of black alder communities in erosion prevention, flood mitigation and contribution to biodiversity, the obtained results can contribute to effective and careful management of black alder habitats in the context of monitoring ecosystem stability. Black alders may be key for preserving and maintaining riparian communities due to buffer flooding. Further research should include hydrological components as differential aspect of black alder habitat distribution. In addition, considering the complexity of habitat conditions, it would be necessary to consider the role and influence of other environmental factors (geomorphology, geology, pedology, interactions of black alder communities with other vegetation and others).