D 1.4.1. Študija potencijalnih lokacij uspevanja ciljnih projektnih rastlinskih vrst

Projekt	transPlant – Integralna čezmejna zaščita NATURA 200 rastlinskih vrst in habitatov
Delovni paket	Delovni paket 1; Aktivnost 1.4 - Razširjenost N2K rastlinskih vrst na čezmejnem programskem območju v prihodnosti
Odgovorni partner	UP - Univerza na Primorskem
Vodilni partner	PMR – Prirodoslovni Muzej Rijeka
Avtorji	Špela Čonč, mag. geo. (ZRC SAZU) dr. Peter Glasnović (UP - Univerza na Primorskem) dr. Anka Kuhelj (UP - Univerza na Primorskem) dr. Boštjan Surina (PMR - Prirodoslovni Muzej Rijeka)
Prevod	dr. Peter Glasnović (UP - Univerza na Primorskem) dr. Boštjan Surina (PMR - Prirodoslovni Muzej Rijeka)
Notranja recenzija	dr. Željka Modrić Surina (PMR - Prirodoslovni Muzej Rijeka)

V okviru aktivnosti 1.4 "Razširjenost N2K rastlinskih vrst na čezmejnem programskem območju v prihodnosti" smo pripravili študijo o potencialni razširjenosti treh ciljnih vrst projekta – raznolistne mačine (*Klasea lycopifolia*), Scopolijevega repnjaka (*Arabis scopoliana*) in dinarske smiljke (*Cerastium dinaricum*) – na podlagi natančnih prostorskih podatkov, ki prikazujejo trenutno stanje na projektnem območju in širše.

1. Preučevano območje

Kot preučevano območje za študijo potencialnih lokacij uspevanja treh ciljnih projektnih rastlinskih N2k vrst smo izbrali države bivše Jugoslavije (Slovenija, Hrvaška, Bosna in Hercegovina, Srbija, Črna Gora, Kosovo in Severna Makedonija) in Albanijo. Območje smo izbrali na podlagi razširjenosti ciljnih projektnih rastlinskih N2k vrst in prekrivanja s projektnim območjem.



Slika 1. Preučevano območje in lokacije uspevanja treh ciljnih projektnih rastlinskih N2k vrst na zahodnem delu Balkanskega polotoka.

2. Pojasnjevalne spremenljivke

Z namenom, da bi ustvarili model potencialnih nahajališč treh ciljnih projektnih rastlinskih N2k vrst, smo uporabili različne okoljske spremenljivke, ki odražajo topografske in podnebne značilnosti preučevanega območja. Kot potencialne dejavnike, ki vplivajo na uspevanje rastlinskih vrst, smo izbrali sedem pojasnjevalnih spremenljivk ter jih uporabili za modeliranje.

Za izračun topografskih značilnosti smo uporabili digitalni model višin (DMV) EuroDEM V1.0 2022 z ločljivostjo 2 arc seconds (kar znaša približno 60 m), ki smo ga pridobili od EuroGeographics (preglednica 1). Na podlagi DMV-ja smo pridobili informacijo o nadmorskih višinah in izračunali usmerjenost (ang. *aspect*), naklon (ang. *slope*), topografski pozicijski indeks (ang. *Topographic Position Index*, TPI) ter indeks razgibanosti površja (ang. *Terrain Ruggedness Index*, TRI). Sloj usmerjenosti smo na podlagi stopinj reklasificirali v kategorije smeri neba (S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ), TPI v kategorije različnih reliefnih oblik (dolina/depresija, ravnina/sp. pobočje, sr. pobočje, zg. pobočje, greben), TRI pa v kategorije razgibanosti (zelo nizka, nizka, srednja, visoka, zelo visoka razgibanost).

Poleg topografskih podatkov smo uporabili tudi podnebne podatke (Bio1 - povprečna letna temperatura in Bio12 - povprečna letna količina padavin) za trenutno stanje (1981–2010), ki so na voljo na podatkovnem portalu CHELSA Climate (Brun et al., 2022; Karger et al., 2017). Ker so bili podnebni podatki na voljo v ločljivosti 1 km × 1 km, smo jih pretvorili na enako celično ločljivost kot jo ima sloj DMV.

Vsi sloji so bili nato prostorsko obrezani na enak obseg preučevanega območja. Za izvoz rastrskih slojev v Maxentu berljivo obliko smo pretvorili rastrske sloje iz formata .geotiff v format .ascii. Za izračun in obdelavo spremenljivk ter lokacij rastišč smo uporabili program ESRI ArcGIS Pro 3.4.0 (ESRI, Redlands, CA, ZDA).

Pred modeliranjem in analizo smo z dvema različnima testoma preverili korelacijo med spremenljivkami. Za izdelavo korelacijske matrike je bilo uporabljeno orodje »Band collection statistics«, za pridobitev informacij o faktorju inflacije variance (ang. *variance inflation factor*, VIF) pa orodje »Ordinary Least Squares (OLS)«. Ker sta oba testa kolinearnosti pokazala, da spremenljivka nadmorska višina korelira z ostalimi spremenljivkami (preglednica 1 in 2), smo jo iz analiz odstranili. Kljub temu, da sta spremenljivki naklon in TRI še vedno nekoliko korelirali (preglednica 2), smo ju v analizah obdržali.

Preglednica 1. Korelacijska matrika za pojasnjevalne spremenljivke.

Spremenljivka	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	0.07	0.00	0.42	0.50	0.05	0.54
2	0.07	1.00	0.30	0.30	0.03	0.00	0.05
3	0.00	0.30	1.00	0.73	0.08	0.30	0.30
4	0.42	0.30	0.73	1.00	0.32	0.27	0.53
5	0.50	0.03	0.08	0.32	1.00	0.01	0.91
6	0.05	0.00	0.30	0.27	0.01	1.00	0.00
7	0.54	0.05	0.30	0.53	0.91	0.00	1.00

1 – Nadmorska višina, 2 – usmerjenost, 3 – bio1, 4 – bio12, 5 – naklon, 6 – TPI, 7 – TRI

Preglednica 2. VIF vrednosti za pojasnjevalne spremenljivke

Spremenljivka	*Arabis scopoliana*		*Cerastium dinaricum*		*Klasea lycopifolia*	
	VIF vrednost		VIF vrednost		VIF vrednost	
Nadmorska višina	6.54	/	17.36	/	10.83	/
Usmerjenost	1.19	1.19	1.34	1.30	1.04	1.04
Bio1	6.67	1.17	16.04	1.62	10.29	1.43
Bio12	1.17	1.15	2.19	2.10	1.84	1.72
Naklon	4.19	4.18	2.99	2.68	3.06	3.05
TPI	1.29	1.05	2.38	1.12	1.17	1.03
TRI	4.11	4.00	3.12	2.88	3.56	3.54

3. Lokacije rastišč treh ciljnih projektnih rastlinskih N2k vrst

Za modeliranje verjetnosti primernih habitatov smo uporabili lokacije rastišč treh ciljnih projektnih rastlinskih N2k vrst (*Arabis scopoliana*, *Klasea lycopifolia*, *Cerastium dinaricum*). Nabor podatkov na območju Balkanskega polotoka za vrsto *Arabis scopoliana* je skupaj vseboval 187 lokacij, *Klasea lycopifolia* 906 lokacij in *Cerastium dinaricum* 51 lokacij (preglednica 3).

Ker se rastišča na določenih območjih pojavljajo pogosteje (v gručah), smo nabor podatkov prostorsko filtrirali, da bi se izognili pristranskosti modela na določenih lokacijah zaradi prostorske avtokorelacije. Nabor podatkov smo filtrirali na podlagi orodja »Spatially rarefy occurrence data tool« iz zbirke orodij »SDM« za ArcGIS Pro (Brown, 2014), ki omogoča, da se lokacije prisotnosti zmanjšajo na eno točko v okviru določene evklidske razdalje (Brown, 2014). Pri vrstah Arabis in Klasea smo uporabili prag razdalje z vrednostjo 1 km, pri vrsti Creastium pa smo zaradi nizkega števila vhodnih podatkov pri modeliranju uporabili vsa rastišča. Za modeliranje v programu Maxent so bile (filtrirane) lokacije rastišč izvožene kot datoteka *.csv* s

tremi zahtevanimi stolpci: vrsta (v našem primeru »požar«), zemljepisna dolžina in zemljepisna širina.

Preglednica 3. Število odstranjenih podvojitev, prostorsko avtokoreliranih odstranjenih točk in točk v končnem naboru podatkov za razdaljo 1 km z orodjem »Spatially rarefy occurrence data tool«.

	Št. vhodnih lokacij	Št. odstranjenih podvojitev	Št. prostorsko avtokoreliranih odstranjenih lokacij	Št. lokacij v končnem naboru podatkov
Arabis scopoliana	187	0	104	83
Klasea lycopifolia	906	8	828	70
Cerastium dinaricum	51	/	/	51

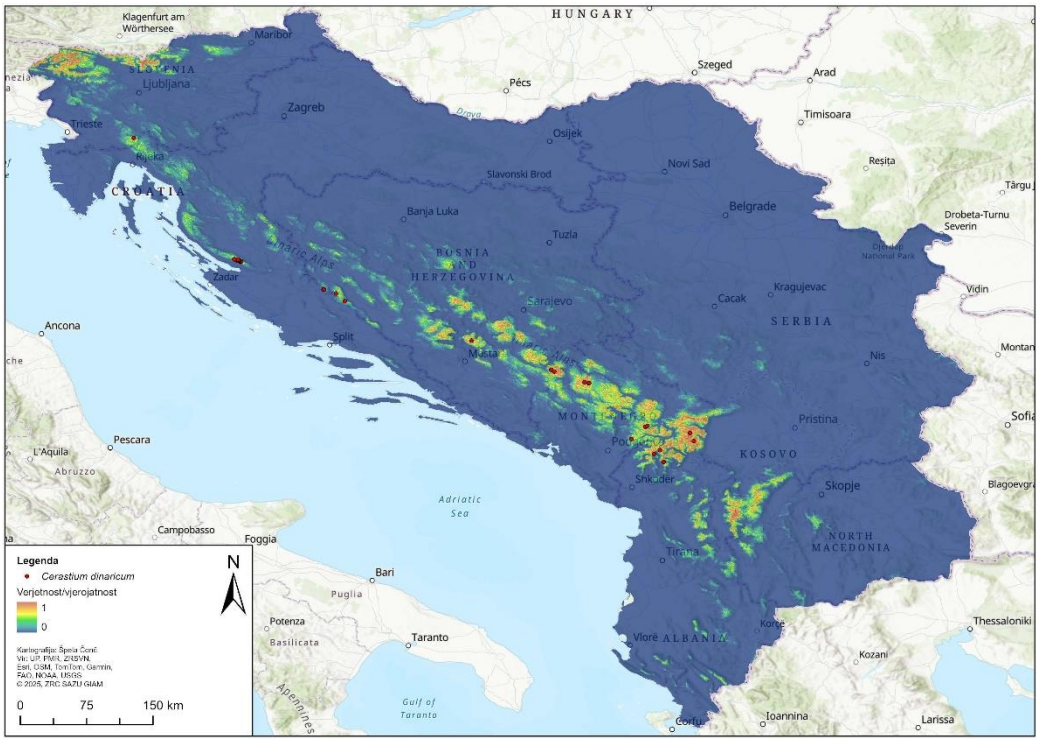
4. Nastavitve Maxenta in modeliranje

Za modeliranje z Maxentom je bilo uporabljeno samostojno odprtokodno orodje Java Maxent (ver. 3.4.4) (Phillips et al., 2017). V orodju smo izbrali ustvarjanje odzivnih krivulj (ang. *Response curves*), test »Jackknife« in slike napovedi. Kot format izhodnih podatkov smo izbrali privzeti cloglog, ki daje oceno verjetnosti prisotnosti med 0 in 1 in je najlažji za razlago (Phillips, 2017). V osnovnih nastavitvah smo koeficientu regularizacije (ang. *regulariaztion multiplier*) nastavili vrednost 1,5, da bi se izognili pretiranemu prilagajanju in dobili bolj razpršene, manj lokalizirane napovedi. Za oceno uspešnosti modela smo uporabili metodo *k*-kratnega navzkrižnega preverjanja (ang. *k-fold cross-validation*), pri kateri se podatki o prisotnosti naključno razdelijo v več enako velikih skupin (tj. podvzorcev) za učenje in testiranje. Model nato izmenično izloča posamezen vzorec iz kreiranja modela in ga v nadaljevanju uporabi za validacijo rezultatov (Phillips, 2017). Izbrali smo pet ponovitev (k = 5) navzkrižnega preverjanja. Druge nastavitve so bile privzete.

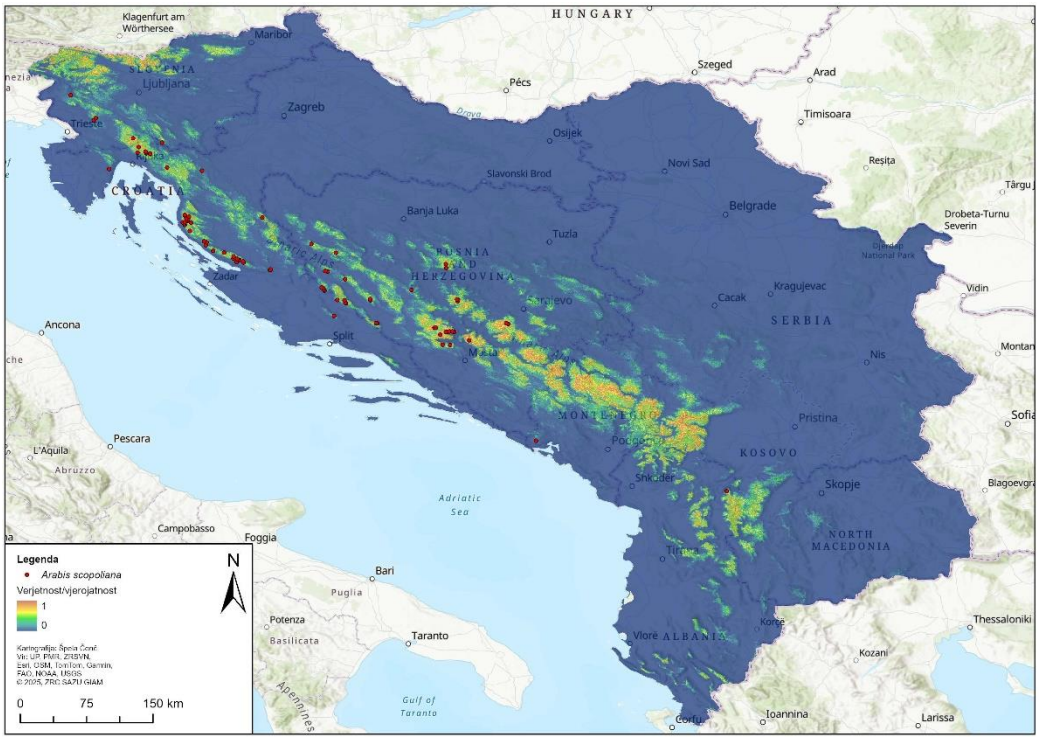
5. Interpretacija modelov

Modeli vseh treh obravnavanih vrst kažejo na večje potencialno območje razširjenosti, kot je trenutno znano (Slike 2 do 4). Za dinarsko smiljko (*Cerastium dinaricum*) in Scopolijev repnjak (*Arabis scopoliana*) modeli napovedujejo ustrezne okoljske pogoje vzdolž celotnega Dinarskega gorstva, vključno s severnim delom Šarsko-pindskega gorstva ter jugovzhodnim delom Alp (Sliki 2 in 3). Medtem ko je dinarska smiljka razširjena od severnega dela Dinaridov (Snežnik) do južnih območij (Komovi, Prokletije), a le na posameznih lokacijah, je osrednje območje razširjenosti Scopolijevega repnjaka skoncentrirano v centralnem in severnem delu Dinaridov, medtem ko se v južnem delu pojavlja disjunktno, zlasti na Albanski Đalici in na Orjenu (Črna gora). Na teh lokacijah bomo izvedli terenske raziskave za potrditev prisotnosti vrste.

Napovedi modelov temeljijo na naboru prostorskih podatkov, ki ne zajemajo vseh dejavnikov, ki opredeljujejo ekološko nišo, znotraj katere vrsti uspevata. Za boljše razumevanje teh niš bi bilo treba vključiti dejavnike, kot so geološka podlaga, sestava tal, vegetacijski pokrov ipd., kar pa na izbrani prostorski resoluciji in v obsegu raziskave ni bilo izvedljivo. Kljub napovedim o potencialni razširjenosti ostaja razumevanje dejanskega razpona vrst nepopolno. Zato bo za natančnejšo opredelitev razširjenosti nujna analiza populacijske strukture z molekularnimi metodami, kar bo predstavljalo predmet nadaljnjih raziskav.

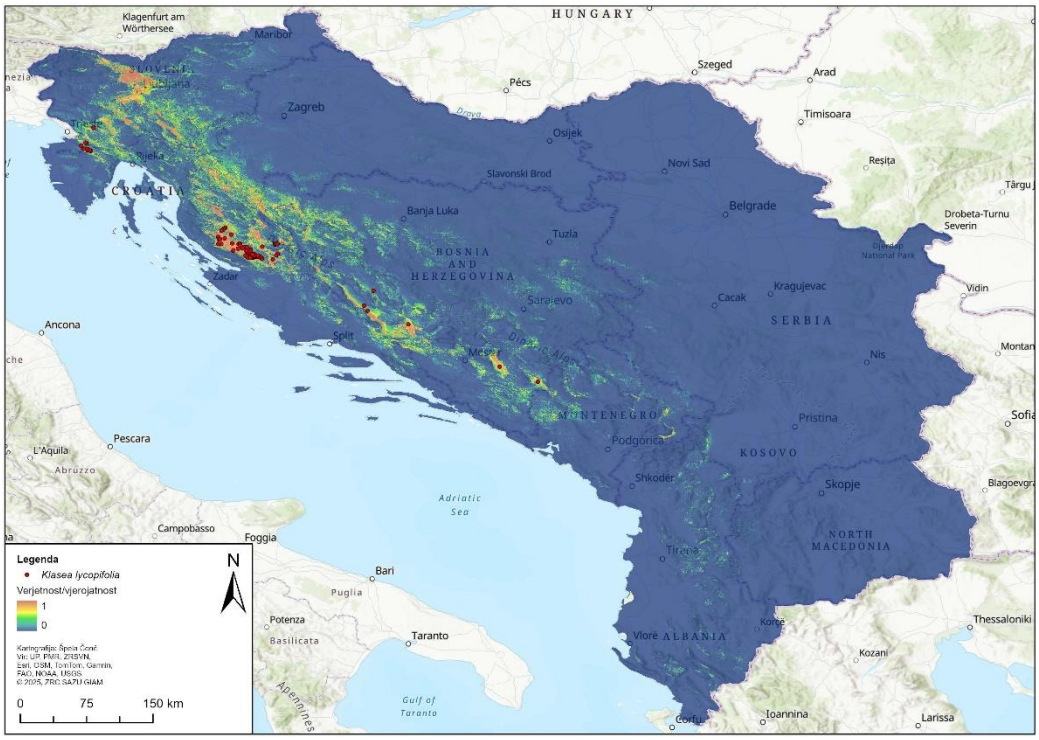


Slika 2. Model potencialne razširjenosti dinarske smiljke (*Cerastium dinaricum*) znotraj proučevanega območja.



Slika 3. Model potencialne razširjenosti Scopolijevega repnjaka (*Arabis scopoliana*) znotraj proučevanega območja.

Model potencialne razširjenosti raznolistne mačine (*Klasea lycopifolia*) prav tako kaže večje območje razširjenosti, kot je trenutno poznano (Slika 4). Na območju Hrvaške in Slovenije (vključno z večjim delom projektnega območja) model predvideva njeno prisotnost v širšem delu osrednje Slovenije ter severozahodni Hrvaški. Tako kot pri preostalih dveh vrstah model zajame le del dejanske ekološke niše. Preostali dejavniki, ki pomembno vplivajo na razširjenost vrste – kot so raba tal, vegetacijski pokrov in druge lokalne okoljske značilnosti – zaradi omejene prostorske ločljivosti niso bili vključeni v model. Kljub nekoliko različnemu pristopu rezultati, predstavljeni v tem poročilu in v dokumentu D.1.4.2, kažejo na zelo podobne vzorce razširjenosti vseh treh ciljnih vrst projekta.



Slika 4: Model potencialne razširjenosti raznolistne mačine (*Klasea lycopifolia*) znotraj proučevanega območja.

6. Viri in literatura

1. Brown, J. L. (2014). SDMtoolbox: A python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, *5*(7), 694–700. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12200
2. Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). *CHELSA-BIOCLIM+ A novel set of global climate-related predictors at kilometre-resolution* (Version 1.0) [Geotiff,PDF]. EnviDat. https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.332
3. EuroGeographics. (2022). EuroDEM v1.0 [Data set]
4. Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution

for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, *4*(1), 170122. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122

5. Phillips, S. J. (2017). *A Brief Tutorial on Maxent* (p. 39). http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
6. Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, *40*(7), 887–893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049

Interreg
Sofinancira EVROPSKA UNIJA
Sufinancira EUROPSKA UNIJA
Slovenija – Hrvatska

transPlant

PRIRODOSLOVNI MUZEJ RIJEKA
NATURAL HISTORY MUSEUM RIJEKA
ZRC SAZU
RISNJAK
Park Škocjanske jame Slovenija
Zavod Republike Slovenije za varstvo narave

Interreg
Sofinancira EVROPSKA UNIJA
Sufinancira EUROPSKA UNIJA
Slovenija – Hrvatska

transPlant

D 1.4.1. Študija potencijalnih lokacij uspevanja ciljnih projektnih rastlinskih vrst

Projekt	transPlant – Integrativna prekogranična zaštita Natura 2000 biljnih vrsta i staništa
Radni paket	Radni paket 1; Aktivnost 1.4 - Rasprostranjenost ciljnih N2000 vrsta projekta na prekograničnom programskom području u budućnosti
Odgovoran partner	UP - Univerza na Primorskem
Vodeći partner	PMR – Prirodoslovni Muzej Rijeka
Autori	Špela Čonč, mag. geo. (ZRC SAZU) dr. sc. Peter Glasnović (UP - Univerza na Primorskem) dr. sc. Anka Kuhelj (UP - Univerza na Primorskem) dr. sc. Boštjan Surina (PMR - Prirodoslovni Muzej Rijeka)
Prijevod	dr. sc. Peter Glasnović (UP - Univerza na Primorskem) dr. sc. Boštjan Surina (PMR - Prirodoslovni Muzej Rijeka)
Unutarnja recenzija	dr. sc. Željka Modrić Surina (PMR - Prirodoslovni Muzej Rijeka)

PRIRODOSLOVNI MUZEJ RIJEKA NATURAL HISTORY MUSEUM RIJEKA · ZRC SAZU · RISNJAK · Park Škocjanske jame Slovenija

U sklopu aktivnosti 1.4 „Rasprostranjenost ciljnih N2000 vrsta projekta na prekograničnom programskom području u budućnosti “, izradili smo studiju o potencijalnoj rasprostranjenosti triju ciljnih vrsta projekta – razgranjenog srpca (*Klasea lycopifolia*), Scopolijeve gušarke (*Arabis scopoliana*) i dinarskog rožca (*Cerastium dinaricum*) - temeljen na preciznim prostornim slojevima koji prikazuju trenutno stanje unutar projektnog područja i šire.

1. Područje istraživanja

Kao područje istraživanja potencijalnih lokacija za rast triju ciljnih biljnih vrsta uvrštenih u mrežu Natura 2000, odabrane su države bivše Jugoslavije (Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Srbija, Crna Gora, Kosovo, Sjeverna Makedonija) i Albanija. Odabir ovog područja temelji se na poznatoj rasprostranjenosti ciljanih vrsta te njihovom preklapanju s geografskim obuhvatom projektnog područja.



Slika 1: Področje istraživanja i lokacije ciljnih vrsta biljaka Natura 2000 iz projekta u zapadnom dijelu Balkanskog poluotoka.

2. Objašnjavajuće varijable

Za potrebe izrade modela potencijalnih lokacija triju ciljnih biljnih vrsta mreže Natura 2000 unutar projektnog područja, koristili smo različite okolišne varijable koje odražavaju topografske i klimatske karakteristike istraživanog prostora.

Odabrali smo sedam objašnjavajućih varijabli koje su identificirane kao potencijalno značajni čimbenici koji utječu na prisutnost i rast biljnih vrsta. Te smo varijable koristili kao ulazne podatke u procesu modeliranja ekološke prikladnosti.

Za izračun topografskih značajki koristili smo digitalni model elevacije (DEM) EuroDEM V1.0 iz 2022. godine s rezolucijom od 2 kutne sekunde (što je približno 60 m), koji smo dobili od

EuroGeographicsa (Tablica 1). Na temelju digitalnog modela visine dobiveni su podaci o nadmorskoj visini, a dodatno su izračunati ekspozicija (eng. *aspect*), nagib (eng. *slope*), indeks topografskog položaja (eng. *Topographic Position Index*, TPI) i indeks razvedenosti terena (eng. *Terrain Ruggedness Index*, TRI). Orijentacijski sloj (ekspozicija) reklasificiran je u kategorije smjera neba (S, SI, I, JI, J, JZ, Z, SZ) na temelju vrijednosti izraženih u stupnjevima. TPI je razvrstan u kategorije oblika reljefa (dolina/depresija, ravnica/niski nagib, srednji nagib, visoki nagib, greben), dok je TRI klasificiran u pet kategorija reljefne izraženosti: vrlo nizak, nizak, srednji, visoki i vrlo visoki reljef.

Uz topografske podatke, u modeliranje smo uključili i klimatske podatke – prosječnu godišnju temperaturu (Bio1) i prosječnu godišnju količinu oborina (Bio12) – za razdoblje 1981.–2010., koji su preuzeti s CHELSA Climate Data portala (Brun i sur., 2022.; Karger i sur., 2017.). Budući da su ovi klimatski podaci dostupni u prostornoj rezoluciji od 1 km × 1 km, prilagodili smo ih rezoluciji digitalnog modela visine (DEM) kako bismo osigurali konzistentnost među slojevima korištenim u daljnjoj analizi.

Svi slojevi potom su prostorno ograničeni na identičan opseg istraživanog područja. Kako bismo omogućili korištenje u Maxent modeliranju, rasterski slojevi su iz izvornog formata .geotiff pretvoreni u .ascii format, koji Maxent prepoznaje. Za proračun i obradu okolišnih varijabli te pripremu podataka o lokacijama vrsta koristili smo program ESRI ArcGIS Pro verzije 3.4.0 (ESRI, Redlands, CA, SAD).

Prije samog modeliranja i analize, provedena je provjera korelacije između varijabli korištenjem dvaju različitih testova. Za izradu korelacijske matrice koristili smo alat »*Band collection statistics*«, dok smo za procjenu faktora inflacije varijance (eng. *variance inflation factor*, VIF) koristili alat »Ordinary Least Squares (OLS)«. Rezultati oba testa kolinearnosti pokazali su da varijabla nadmorske visine pokazuje visoku korelaciju s ostalim varijablama (Tablice 1 i 2), zbog

čega je izostavljena iz daljnjih analiza. Iako je između varijabli nagiba i indeksa neravnine terena (TRI) i dalje postojala određena razina korelacije (Tablica 2), odlučeno je da se zadrže u analizi zbog njihove važnosti u opisu morfoloških karakteristika terena.

Tablica 1: Korelacijska matrica za objašnjavajuće varijable.

Varijable	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	0.07	0.00	0.42	0.50	0.05	0.54
2	0.07	1.00	0.30	0.30	0.03	0.00	0.05
3	0.00	0.30	1.00	0.73	0.08	0.30	0.30
4	0.42	0.30	0.73	1.00	0.32	0.27	0.53
5	0.50	0.03	0.08	0.32	1.00	0.01	0.91
6	0.05	0.00	0.30	0.27	0.01	1.00	0.00
7	0.54	0.05	0.30	0.53	0.91	0.00	1.00

1 – Nadmorska visina, 2 – ekspozicija, 3 – bio1, 4 – bio12, 5 – nagib, 6 – TPI, 7 – TRI

Tablica 2: VIF vrijednosti za objašnjavajuće varijable

Varijable	*Arabis scopoliana*		*Cerastium dinaricum*		*Klasea lycopifolia*	
	VIF vrijednost		VIF vrijednost		VIF vrijednost	
Nadmorska visina	6.54	/	17.36	/	10.83	/
Ekspozicija	1.19	1.19	1.34	1.30	1.04	1.04
Bio1	6.67	1.17	16.04	1.62	10.29	1.43
Bio12	1.17	1.15	2.19	2.10	1.84	1.72
Nagib	4.19	4.18	2.99	2.68	3.06	3.05
TPI	1.29	1.05	2.38	1.12	1.17	1.03
TRI	4.11	4.00	3.12	2.88	3.56	3.54

3. Lokacije triju ciljnih biljnih vrsta unutar mreže Natura 2000 obuhvaćenih projektom

Za potrebe modeliranja vjerojatnosti prikladnih staništa, korištene su lokacije triju ciljnih N2k vrsta biljaka projekta. Balkanski skup podataka za vrstu *Arabis scopoliana* obuhvaćao je ukupno 187 lokacija, za vrstu *Klasea lycopifolia* 906 lokacija, dok je za vrstu *Cerastium dinaricum* bilo dostupnih 51 lokaliteta (Tablica 3). Budući da su lokacije zabilježene u većoj koncentraciji na određenim područjima, skup podataka prostorno je filtriran kako bi se smanjila pristranost modela uzrokovana prostornom autokorelacijom. Filtriranje je provedeno pomoću alata orodja »Spatially rarefy occurrence data tool« iz SDM alatnog okvira za ArcGIS Pro (Brown, 2014.), koji omogućuje smanjenje broja lokacija pojavljivanja na jednu točku unutar definirane euklidske udaljenosti. Za vrste *Arabis scopoliana* i *Klasea lycopifolia* primijenjen je prag udaljenosti od 1

km, dok su za *Cerastium dinaricum*, zbog ograničenog broja dostupnih podataka, u modeliranje uključena sva nalazišta bez filtracije.

Za potrebe modeliranja u Maxentu, filtrirane (ili nefiltrirane) lokacije izvezene su u obliku .csv datoteke koja sadrži tri obavezna stupca: naziv vrste (u našem slučaju »požar«), zemljopisnu dužinu i zemljopisnu širinu.

Tablica 3: Broj uklonjenih duplikata, prostorno autokoreliranih točaka te konačan broj točaka u skupu podataka (za udaljenost od 1 km), dobiven je pomoću alata »Spatially rarefy occurrence data tool«.

	Broj točaka	Broj uklonjenih točaka	Broj uklonjenih prostorno autokoreliranih točaka	Konačan broj točaka
Arabis scopoliana	187	0	104	83
Klasea lycopifolia	906	8	828	70
Cerastium dinaricum	51	/	/	51

4. Postavke za Maxent i modeliranje

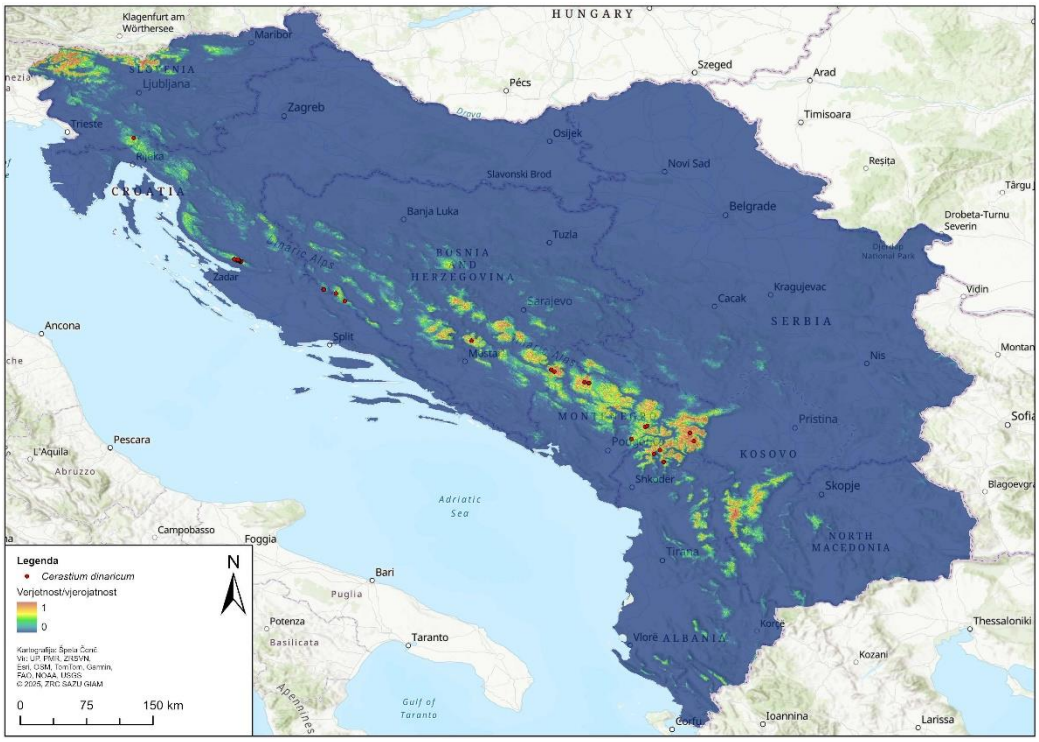
Za modeliranje s Maxentom korišten je samostalni Java alat otvorenog koda Maxent (verzija 3.4.4) (Phillips i sur., 2017). U okviru alata, odabrali smo izradu krivulja odziva (eng. *Response curves*), »Jackknife« test i generiranje prediktivnih slika. Kao izlazni format podataka odabrali smo cloglog koji omogućava procjenu vjerojatnosti prisutnosti vrste u rasponu od 0 do 1, što je najjednostavnije za interpretaciju i daje precizne rezultate u kontekstu predviđanja ekološke prikladnosti (Phillips, 2017). Za sprječavanje prekomjernog prilagođavanja modela, postavili smo multiplikator regularizacije (eng. *regulariaztion multiplier*) na 1,5, što nam je omogućilo da

dobijemo difuznija i manje lokalizirana predviđanja. To smanjuje rizik od overfittinga i omogućava bolje generaliziranje modela na neviđene podatke. Kako bi se procijenila točnost modela, koristili smo metodu k-fold unakrsne validacije (eng. *k-fold cross-validation*), u kojoj su podaci o posjećenosti nasumično podijeljeni u nekoliko jednakih skupina (tj. poduzoraka). Svaki put, jedan od tih poduzoraka se koristi kao testni skup, dok se preostali poduzorci koriste za treniranje modela. Model zatim naizmjenično izdvaja svaki uzorak iz procesa treniranja i koristi ga za validaciju rezultata (Phillips, 2017). Za našu analizu odabrali smo pet ponavljanja (k = 5) unakrsne validacije kako bismo osigurali robusnost rezultata. Ostale postavke modela bile su postavljene na zadane vrijednosti.

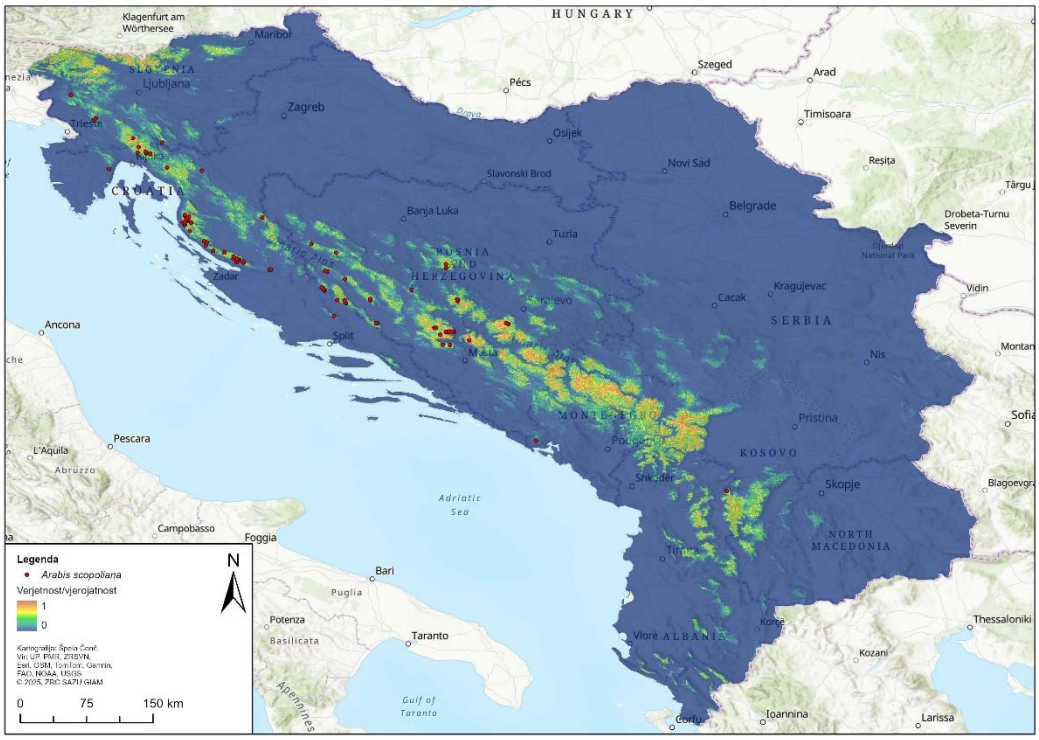
5. Interpretacija modela

Modeli za sve tri razmatrane vrste ukazuju na veći potencijalni raspon distribucije nego što je trenutno poznato (slike 2 do 4). Za dinarski rožac (*Cerastium dinaricum*) i Scopolijevu gušarku (*Arabis scopoliana*), modeli predviđaju prikladne uvjete okoliša duž cijelog Dinarskog gorja, uključujući sjeverni dio Šarsko-Pindskog gorja i jugoistočni dio Alpa (slike 2 i 3). Dinarski rožac je rasprostranjen od sjevernog dijela Dinarida (Snežnik) do južnih područja istog gorstva (Komovi, Prokletije), ali samo na pojedinačnim lokacijama. Predviđanja modela sugeriraju šire područje pogodnih uvjeta, uključujući i južnije regije, gdje nije prisutan. Scopolijeva gušarka (*Arabis scopoliana*) ima središnje područje rasprostranjenosti u središnjem i sjevernom dijelu Dinarida, dok se u južnom dijelu javlja u disjunkcijama, posebice na albanskoj Đalici i crnogorskom Orjenu. Modeli predviđaju potencijalnu ekološku prikladnost i za ove disjunktne lokacije. Kako bi se potvrdila stvarna prisutnost ovih vrsta na predviđenim lokacijama, planiramo daljnja terenska istraživanja. Ova istraživanja omogućit će nam provjeru modela i dodatno vrednovanje prikazanih područja ekološke prikladnosti.

Iako predviđanja modela ukazuju na širu potencijalnu rasprostranjenost ciljnih vrsta, oni se temelje na prostornom skupu podataka koji ne uključuje sve čimbenike ključne za definiranje stvarne ekološke niše unutar koje vrste uspješno uspjevaju. Da bi se ova niša bolje razumjela, bilo bi potrebno uključiti dodatne čimbenike, poput geološke podloge, sastava tla, vegetacijskog pokrova i mikroklimatskih uvjeta, koje zbog ograničenja prostorne rezolucije i opsega ove studije nisu bile uključene. Stoga razumijevanje stvarnog područja rasprostranjenosti ciljnih vrsta ostaje djelomično nepotpuno. Kako bi se ono preciznije definiralo, nužno je povezati rezultate modela s terenskim istraživanjima i daljnjim znanstvenim analizama. U tom kontekstu, primjena molekularnih metoda za analizu strukture populacija postaje ključna. Ove analize predviđene su kao sljedeći korak istraživanja u okviru projekta.

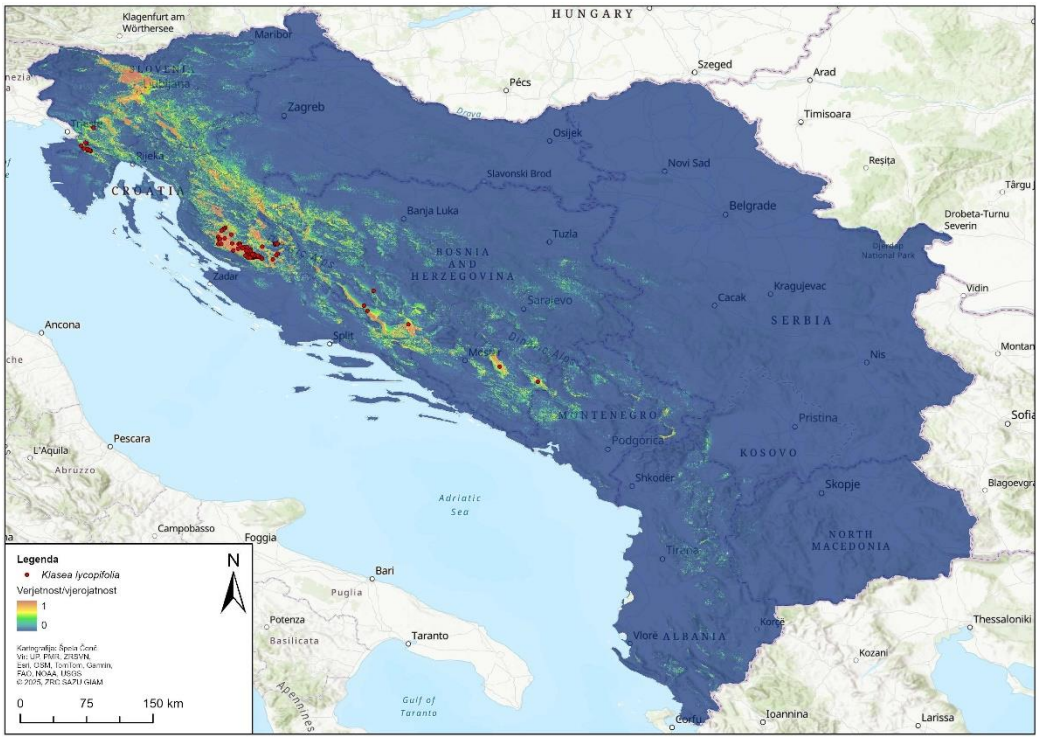


Slika 2: Model potencijalne rasprostranjenosti dinarskog rožca (*Cerastium dinaricum*) unutar područja istraživanja.



Slika 3. Model potencijalne rasprostranjenosti Scopolijeve gušarke (*Arabis scopoliana*) unutar područja istraživanja.

Potencijalni model rasprostranjenosti razgranjenog srpca (*Klasea lycopifolia*) također ukazuje na šire područje rasprostranjenosti od trenutno poznatog (Slika 4). Na području Hrvatske i Slovenije (uključujući velik dio projektnog područja), model predviđa njegovu prisutnost u širem dijelu središnje Slovenije i sjeverozapadne Hrvatske. Kao i kod preostale dvije vrste, model obuhvaća samo dio stvarne ekološke niše. Preostali čimbenici koji značajno utječu na rasprostranjenost vrste – poput korištenja zemljišta, vegetacijskog pokrova i drugih lokalnih karakteristika okoliša – nisu uključeni u model zbog ograničene prostorne rezolucije. Unatoč nešto drukčijem pristupu, rezultati prikazani u ovom izvješću i u dokumentu D.1.4.2 pokazuju vrlo slične obrasce raspodjele za sve tri ciljne vrste projekta.



Slika 4: Model potencijalne rasprostranjenosti razgranjenog srpca (*Klasea lycopifolia*) unutar područja istraživanja.

6. Literatura

1. Brown, J. L. (2014). SDMtoolbox: A python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, *5*(7), 694–700. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12200
2. Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). *CHELSA-BIOCLIM+ A novel set of global climate-related predictors at kilometre-resolution* (Version 1.0) [Geotiff,PDF]. EnviDat. https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.332
3. EuroGeographics. (2022). EuroDEM v1.0 [Data set]

4. Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, *4*(1), 170122. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122
5. Phillips, S. J. (2017). *A Brief Tutorial on Maxent* (p. 39). http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
6. Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, *40*(7), 887–893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049