

INTERAKCIJA NARAVNIH IN DRUŽBENIH RAZMER KOT POSPEŠEVALEC ZARAŠČANJA KRASA

DANIJEL DAVIDOVIČ,¹ DANIJEL IVAJNSIČ,^{1,2} JURE ČUŠ³

¹ Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Maribor, Slovenija

daniyel.davidovic@um.si, dani.ivajnsic@um.si

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija

dani.ivajnsic@um.si

³ Starše, Slovenija

jure.cus@gmail.com

Sinopsis Na Krasu se sekundarna travišča, zaščiteni pod okriljem omrežja Natura 2000, zaraščajo z gozdom. Do konca stoletja jim grozi skoraj popolno izginotje. Časovna vrsta več spektralnih podob satelitov Landsat v kombinaciji s prostorskimi podnebnimi podatki razkriva dinamiko zaraščanja odprtih habitatov na Krasu. Rezultati kažejo, da lahko do konca stoletja zaradi interakcije naravnih in družbenih razmer izgine tudi več kot tri četrtine trenutno obstoječih odprtih habitatov. Neugodna starostna sestava nosilcev kmetijskih gospodarstev, razdrobljenost kmetijskih zemljišč in opuščanje živinoreje le pospešuje krčenje vrstno bogatih in zaščitenih travišč. Predstavljen metodološki pristop omogoča monitoring in načrtovanja kmetijskih in naravovarstvenih dejavnosti na regionalni ravni in napoved razvoja sukcesije pod vplivom prihodnjih podnebnih sprememb.

Ključne besede

sukcesija,
sekundarna
travišča,
Landsat,
daljinsko
zaznavanje,
Geografski
informatijski
sistemi

INTERACTION BETWEEN NATURAL AND SOCIAL ACCELERATORS OF KARST SECONDARY SUCCESSION

DANIJEL DAVIDOVIČ,¹ DANIJEL IVAJNSIČ,^{1,2} JURE ČUŠ³

¹ University of Maribor, Faculty of Arts, Maribor, Slovenia
danijel.davidovic@um.si, dani.ivajnsic@um.si

² University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Maribor, Slovenia
dani.ivajnsic@um.si

³ Starše, Slovenia
jure.cus@gmail.com

Abstract In the Karst area, secondary grasslands protected under the Natura 2000 network are overgrown with forest. By the end of the century, they will be threatened with almost complete retraction. The time series of Landsat multi-spectral images in combination with spatial climate data revealed the succession dynamics of open habitats. The results show that by the end of the century, more than three-quarters of the existing open habitats may disappear, owing to adverse natural and social conditions. The unfavourable age structure of farm holders, the fragmentation of agricultural land and the abandonment of livestock farming serve only to accelerate the shrinking of species-rich and protected grasslands. The methodological approach presented here enables monitoring and planning of agricultural and environmental protection activity at the regional level and includes succession process forecasting under future climate change conditions.

Keywords:

succession,
secondary
grasslands,
Landsat,
remote sensing,
Geographic
information
systems

1 Uvod

Kras je izrazita apnenčasta planota s površino 429 km², ki se razteza v dinarski smeri SZ-JV. V geološkem pogledu je antiklinala iz apnenca in dolomita med flišnima sinklinalama Vipavske doline in Tržaškega zaliva [1]. Leži v prehodni coni med kontinentalnim in submediteranskim podnebjem z značilnimi vlažnimi in hladnimi zimami ter dolgimi in vročimi poletji [2]. Povprečna letna temperatura znaša 12,8 °C, letna količina padavin znaša 1571 mm [3]. Kljub tolikšni količini padavin je večina Krasa brez površinskih tekočih voda in trajnih izvirov, saj vode na prehodu s fliša na apnenec poniknejo.

Tako kot danes je na Krasu gozd prevladoval že v preteklosti [4]. V zgodnjem holocenu sta najpogostejši naravni združbi tvorila bukovo-jelov (*Abieti-Fagetum*) in hrastovo-gabrov (*Quercu-Carpinetum*) gozd [4]. S prihodom človeka, pojavom poljedelstva in živinoreje se je gozdnata podoba krajine pričela hitro spreminjati. Intenzivno izsekavanje primarnega gozda zaradi pridobivanja pridelovalnih površin se začne že pred Rimljani. Kljub temu do 14. stoletja na tem območju prevladujejo gozdovi. V 15. stoletju se nato gozdne površine Krasa krčijo kot posledica povečevanja poljedelstva, pašništva in prodaje lesa ladjedelnicam [5]. Do 19. stoletja tako Kras postane neporaščena kamnita pokrajina [6]. Zmanjševanje obsega gozda je povzročilo močno erozijo tal, močnejši veter in spremembo vodnega režima [5], [7], [8]. V 19. stoletju se prične načrtno pogozdovanje Krasa (sprva s poskusi sejanja hrastovega želoda in pozneje z uspešnejšim črnim borom (*Pinus nigra*)) [9], ki traja do prve polovice 20. stoletja. Kasneje pogozdovanje, zaradi negativnih demografskih trendov in posledičnega opuščanja kmetijskih dejavnosti, zamenja proces naravnega zaraščanja [8], [10], [11]. Na zaraščajočih površinah rastejo hrast puhavec, črni hrast, črni gaber, črni trn, pravi kostanj, mali jesen, trdoleska, graden, krhlika in rašeljika [5], [12].



Slika 1: Lokacija raziskovanega območja [13]

Danes je zaradi velike habitatne vrednosti 93 % Krasa zaščitenega kot območje Nature 2000. Predvsem sekundarna travišča predstavljajo habitate z največjo raznovrstnostjo organizmov v zmernih klimatih [14]. Omogočajo raznovrstne ekosistemske storitve, med katerimi so tudi: sekvestracija ogljika, preprečevanje vodne in vetrne erozije, nadzorovanje vlažnosti, oprashaevanje, nadzor divjih požarov, hrana za rejo živine, pridelava medu, habitat za prostoživeče vrste ter prostor za izobraževanje, rekreacijo in turizem [15].

Sekundarna travišča se na Krasu začnejo pojavljati v rimskem obdobju pred 2500 do 2000 leti [16]. Nastala so s sečnjo in požigom gozda. Praviloma na globljih tleh najdemo travnike, na plitvejših tleh pa pašnike [17]. Sicer je za Kras značilen ciklični proces opuščanja in kulture kmetijskih zemljišč oziroma širjenje in krčenje travišč. Največji obseg travišč beležimo pred 250 leti, ko so le-ta obsegala trikrat več površin kot danes [14], [16]. Skozi stoletja so kraška sekundarna travišča po vrstni pestrosti postala primerljiva z estonskimi [18], češkimi [19] in romunskimi travišči [19], [20], ki so bila priznana kot najbogatejše rastlinske združbe v popisnem merilu od 10 do 50 m². Posledično je izginjanje sekundarnih travišč v mnogih delih sveta prepoznano kot ena izmed glavnih groženj rastlinski biodiverziteti [21], [22].

Zaraščanje travnikov je naraven proces. Ob odsotnosti človekovega upravljanja in ob primernih naravnih pogojih, ki med ostalim vključujejo zadostno količino padavin in primerne temperature zraka, se travnišča zaraščajo v gozd, s čimer se njihove posamezne ekosistemske storitve lahko izgubijo. Obsežna ekstenzifikacija lahko vpliva na mikroklimo in pogoje za vzgojo tradicionalnih kultur, ki so prilagojene toplejšim in bolj sušnim razmeram [8], [10]. Hkrati se poveča možnost za krepitev neugodnih razmer v gozdu, ki nastanejo zaradi škodljivcev, vetra, snega, žledu in zemeljskih plazov, kar povečuje sanitarno sečnjo in finančne stroške [5]. Gozdovi vplivajo tudi na tipične kraške pojave, ki nastajajo s korozijo, saj se z večjo poraščenostjo niža parcialni tlak CO₂ [1]. Zaradi monokulturnega pogozdovanja s črnim borom so gozdovi na Krasu postali tudi ranljivi za požare in škodljivce. Obsežno spreminjanje zemljiških kategorij pomeni tudi spreminjanje kulturne krajine [5], [7], [10]. Posledično je ogozdovanje povezano z nekaterimi negativnimi družbenogospodarskimi procesi, kot so deagrarizacija in depopulacija [5]. Kljub temu da imajo tudi gozdovi veliko naravovarstveno in kulturno vrednost, je zaradi povezljivosti in biodiverzitet smiselno ohranjanje travnišč v obsegu 15 % površin [14].

Na območjih Nature 2000, predvsem na JZ Slovenije, kamor spada tudi Kras, so ugotovljene izrazitejša spremembe bioklimatskih spremenljivk [23]. Stanje se bo predvidoma stopnjevalo, saj je v dokumentih šestega poročila Medvladnega panela o podnebnih spremembah [24] izpostavljeno, da so emisije toplogrednih plinov v zadnjem desetletju (2010–2019) dosegle najvišji nivo v zgodovini. V sinteznem poročilu Climate Change 2021: The Physical Science Basis je izpostavljeno, da se negativni učinki v Mediteranu kažejo predvsem v obliki segrevanja ozračja, s številnejšimi temperaturnimi ekstremi, s povečano sušnostjo, z manjšo količino padavin, večjo požarno ogroženostjo in nižjo hitrostjo vetra [25]. Višje temperature zraka na Krasu je pričakovati tudi zaradi same lege, saj spada v Obalno-kraško regijo, ki je najbolj osončena regija v Sloveniji [26].

V prispevku se osredotočamo na zaraščanje odprtih ne-gozdnih, predvsem travniških površin na Krasu, ki jim številne študije [5], [14], [16], [27], [28] zaradi interakcije neugodnih socio-ekonomskih razmer in podnebnih sprememb napovedujejo negotovo prihodnost. Naslanjamo se na časovno serijo (1990–2019) podob satelitov Landsat. Še posebej nas je zanimalo: (1) kakšna je hitrost zaraščanja odprtih habitatov na Krasu, (2) ali na hitrost zaraščanja res vplivajo podnebne

spremenbe, (3) kakšna bo potem (v luči podnebnih sprememb) prihodnost travnišč in drugih odprtih habitatov na Krasu in (4) kako na zaraščanje Krasa vplivajo socio-ekonomske značilnosti lastnikov kmetijskih zemljišč?

2 Metode

2.1 Podatkovne baze in priprava podatkov

Zaraščanje oziroma napredovanje gozda na odprte habitate na Krasu smo ugotavljali s pomočjo vegetacijskega indeksa NDVI (*ang. Normalized Difference Vegetation Index*). Indeks NDVI smo izračunali za vsako leto v obdobju od 1990 do 2019 iz podatkov, pridobljenih s sateliti Landsat 1–8. Vse uporabljene Landsat podobe oziroma optični kanali so imeli enako prostorsko ločljivostjo (velikost slikovne enote enako 30 m). Podatki so prosto dostopni na spletnem portalu EarthExplorer [29], ki ga upravlja Geološki zavod ZDA (*ang. USGS*). Zaradi primerljivosti med leti smo uporabili satelitske podobe, zajete v mesecih junij, julij in avgust, ko je vegetacija v podobni (zreli) stopnji razvoja. Pred obdelavo podatkov oziroma izbranih spektralnih pasov je obsegala atmosfersko in radiometrično korekcijo s TerrSet modulom Landsat [30].

V nadaljevanju smo preverili vpliv podnebja na zaraščanje. Uporabili smo podnebne kazalce: povprečna dnevna temperatura zraka (TAS), povprečna dnevna maksimalna temperatura zraka (TASmax), povprečna dnevna minimalna temperatura zraka (TASmin), povprečna potencialna evapotranspiracija (PET) in letna količina padavin (PR). Ti podatki (z velikostjo slikovne enote približno 1 km² [30 arc sekund]) so prosto dostopni na spletnem portalu CHELSA [31], ki jo upravlja Švicarski zvezni inštitut za raziskave gozdov, snega in pokrajine (*ang. WSL*). V programskem okolju ArcGIS Pro 2.9.0 [32] smo nato izračunali letna povprečja vseh obravnavanih podnebnih kazalcev za obdobje od let 1990 do 2019.

V nadaljevanju smo z uporabo orodja *Zonal Statistics* v ArcGIS Pro izračunali povprečne letne vrednosti NDVI, TAS, TASmax, TASmin, PET in PR za raziskovano območje. Po preverjanju statistične značilnosti zvez med odvisno spremenljivko NDVI in prediktorji TAS, TASmax, TASmin, PET in PR, v programskem okolju R [33] smo tiste z značilno ($\alpha < 0,05$) ali mejno-značilno ($\alpha < 0,10$) zvezo (t-preizkus linearne povezanosti) pripravili tudi za prihodnja časovna

obdobja 2025 (2011–2040), 2055 (2041–2070) in 2085 (2071–2100) ob upoštevanju globalnega podnebnega modela MPI-ESM1-2-HR za emisijski scenarij SSP5-8.5[34].

Za ugotavljanje vpliva družbenih razmer na zaraščanje Krasa smo uporabili podatke na ravni grafične enote rabe kmetijskega gospodarstva (GERK), ki jih vodijo v Registru kmetijskih gospodarstev in so podlaga za uveljavljanje ukrepov Skupne kmetijske politike (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano). Podatki v vektorski obliki obsegajo površino zemljišč (m²), povprečno starost nosilca kmetijskega gospodarstva, ki upravlja zemljišče, in povprečno število glav velike živine (GVŽ). Podatki so zbrani po posameznem GERK-u in so v nadaljevanju združeni glede na unikatno identifikacijsko številko kmetijskega gospodarstva KMG-MID. Tudi podatke o rabi tal za leto 2021 smo pridobili na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano [35]. Sicer smo v nadaljevanju analize te podatke filtrirali in uporabili le kategorije gozd (2000), travnik (1300) in pozidano (3000). Pozidane površine so pri raziskovanju časovnih sprememb zaraščanja upoštevane kot konstanta in na ta način predstavljajo masko za filtriranje rezultata.

2.2 Regresijska analiza slikovnih enot

Vegetacijski indeks NDVI smo izračunali s TerrSet modulom VegIndex [30]. Temelji na razmerju med rdečim in bližje infrardečim kanalom satelitske podobe. Indeks lahko zaseda vrednosti od -1, za vodo in neporaščene površine, do +1 za zdrav gozd [36]. Za potrebe analize smo NDVI izračunali 30-letno časovno serijo (od 1990 do 2019).

Hitrost zaraščanja odprtih habitatov na Krasu na nivoju slikovne enote (30 m²) smo ocenili s pomočjo zvez NDVI-čas in NDVI-TAS (edini podnebni kazalec s statistično značilnim vplivom na NDVI). Za vsako slikovno enoto smo s funkcijo `linest` [37] izračunali smerna koeficienta linearnega trenda in pripadajoči konstanti. Dobljene enačbe so omogočile napoved nadaljnjega poteka procesa sukcesije na nivoju slikovne enote ob upoštevanju vpliva podnebnih sprememb.

2.3 Modeliranje procesa zaraščanja

V prvem koraku smo za vsako časovno okno (2025, 2055 in 2085) napovedali prihodnji NDVI s pomočjo zveze čas-NDVI; v drugem pa z zvezo TAS-NDVI. Oba kazalca NDVI ($NDVI_{\text{čas}}$ in $NDVI_{\text{TAS}}$) smo nato (zaradi hkratnega vpliva) utežili (*ang. Weighted Overlay*) na podlagi velikosti standardne napake ostankov iz pripadajoče linearne zveze. Pri tem je $NDVI_{\text{čas}}$ zavzel vrednost uteži 0,62 in $NDVI_{\text{TAS}}$ vrednost 0,38.

Obseg zaraščanja smo v nadaljevanju na podlagi obstoječih satelitskih podob ugotavljali za petletna obdobja v preteklosti (1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2019), in nato na podlagi omenjenih funkcijskih zvez predvideli nadaljnji potek sukcesije za tridesetletna obdobja v prihodnosti (2025, 2055, 2085). Da bi ugotovili obseg širjenja gozda na odprte habitate je bilo potrebno določiti mejo med obema. Le-to smo določili na podlagi lastnosti frekvenčne porazdelitve vrednosti NDVI v posamezni kategoriji (gozd, travišče) za leto 2019. Vrednosti NDVI smo pridobili z naključnim vzorčenjem znotraj poligonov, ki so bili v vektorskem sloju rabe tal opredeljeni kot gozd in travniki. Z orodji *Create Random Points* in *Extract Multi Values to Points* v okolju ArcGIS Pro smo ustvarili 100 naključnih točk v vsaki kategoriji rabe tal (skupaj 200). Mejne vrednosti NDVI za kategorijo gozd za pretekla leta (2015, 2010, 2005, 2000, 1995 in 1990) smo določili z odštevanjem zmnožka vrednosti smernega koeficienta in vsote preteklih let od mejne vrednosti NDVI za 2019. V nadaljevanju smo rastrske sloje z NDVI vrednostmi za obravnavana leta reklasificirali na kategoriji gozd in odprti habitati na podlagi ugotovljenih mej. V zaključni stopnji analize smo nato izračunali površino gozda in odprtih habitatov na Krasu za posamezna časovna okna.

2.4 Vpliv družbenih dejavnikov na proces zaraščanja

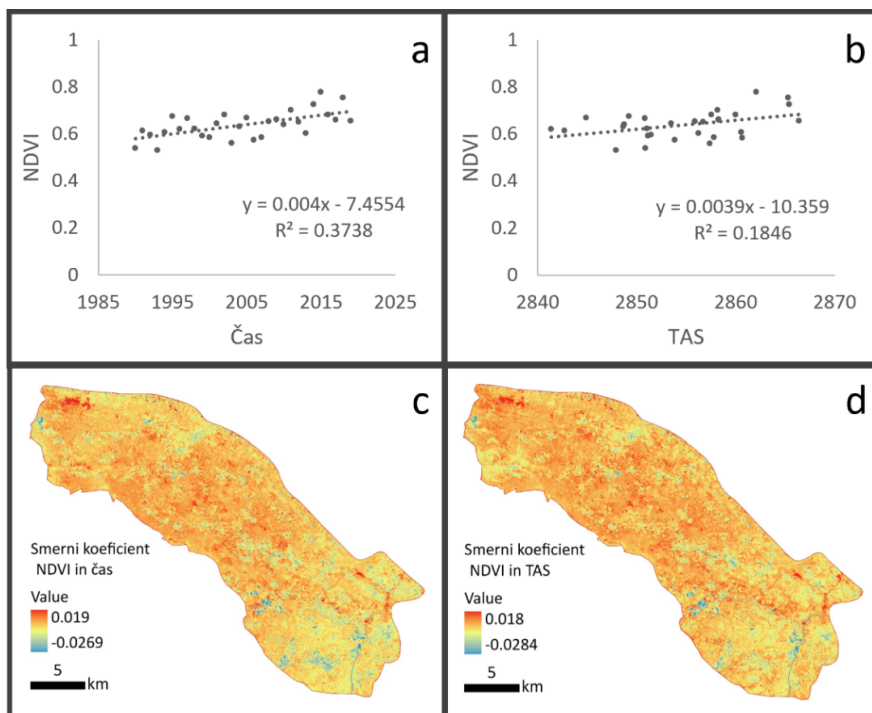
Kulturna krajina je proizvod interakcije človekove dejavnosti in okoljskih razmer na danem mestu. Nedvomno je v zadnjem obdobju močnejši preoblikovalec površja človek. Posledično smo želeli ugotoviti vpliv izbranih socio-ekonomskih kazalcev na proces zaraščanja na Krasu. Podatki GERK so bili združeni v zemljišča z unikatno identifikacijsko številko KMG-MID. Gre za zemljišča enega kmetijskega gospodarstva, ki imajo podoben način upravljanja, tako da so nam omogočili

primerjavo izračunane hitrosti zaraščanja (smernega koeficienta NDVI) z (i) površino kmetijskega zemljišča, (ii) starostjo nosilca in (iii) števila GVŽ.

3 Rezultati

3.1 Zaraščanje v odvisnosti od naravnih dejavnikov

Ugotovili smo, da se je v obdobju od leta 1990 do leta 2019 površina gozda postopno povečevala, površina odprtih habitatov (predvsem travišč) pa krčila. Regresijska analiza slikovnih enot je razkrila, da sta čas in povprečna temperatura zraka ena izmed sooblikovalcev prostorskega vzorca zaraščanja na raziskovanem območju. Z obema lahko razložimo 55,8 % vzrokov za spremembe obravnavane krajine (Slika 2a, b). Preostali delež je odvisen od drugih bodisi naravnih bodisi družbenih dejavnikov, vezanih na Kras.



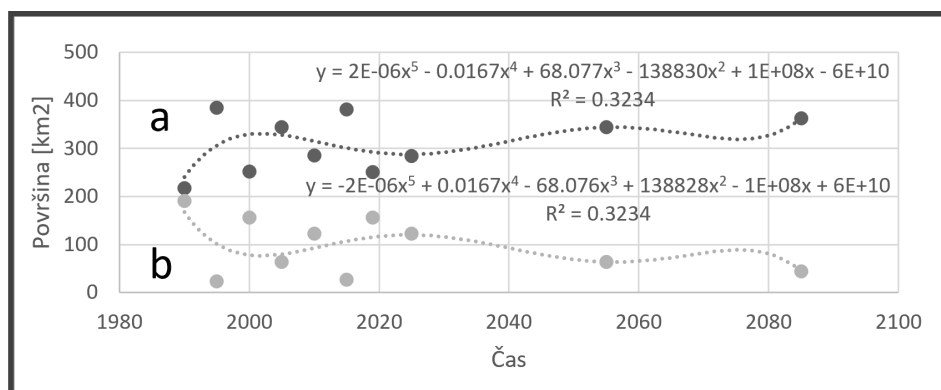
Slika 2: Zveza med a) NDVI in časom ter b) NDVI in povprečno letno temperaturo zraka ter njun prostorski trend (c, d)

Vir: lasten

Zaznali smo pozitiven trend zaraščanja na skoraj celotnem raziskovanem območju z izjemo naselij in njihove bližnje okolice (Slika 2c). Največja območja ekstenzifikacije na Krasu so SZ deli v okolici Medvejšč, Kostanjevice na Krasu, Vojšćice in Brestovice pri Komnu, ki so hkrati območja visokega pridelovalnega potenciala. Tudi zveza TAS-NDVI v prostoru zavzema pretežno pozitivne vrednosti smernega koeficienta, kar nakazuje na pospeševanje sukcesije ob višanju povprečne temperature zraka (Slika 2d).

3.2 Hitrost in obseg zaraščanja

Leta 1990 je gozd obsegal 217,62 km² (49,5 %) in odprti habitati 190,42 km² (43,3 %) (Slika 3, Preglednica 1). Ob upoštevanju pesimističnega emisijskega scenarija SSP5-8.5 se lahko površina gozda na Krasu do leta 2085 poveča za 146 km², kar predstavlja 67 % povečanje gozdnih površin in 76,6 % zmanjšanje površin odprtih habitatov v primerjavi z letom 1990. V tem obdobju se je gozd širil s povprečno hitrostjo 1,5 km²/leto. Tako bi se lahko do leta 2055 površina gozda povečala za 37 % in površina odprtih habitatov skrčila za 71,5 % v primerjavi z obstoječim stanjem (2019). Modelne napovedi nakazujejo, da lahko do leta 2085 več kot tri četrtine trenutno obstoječih odprtih habitatov na Krasu izgine, v kolikor upoštevamo aktualne trende upravljanja tega območja.



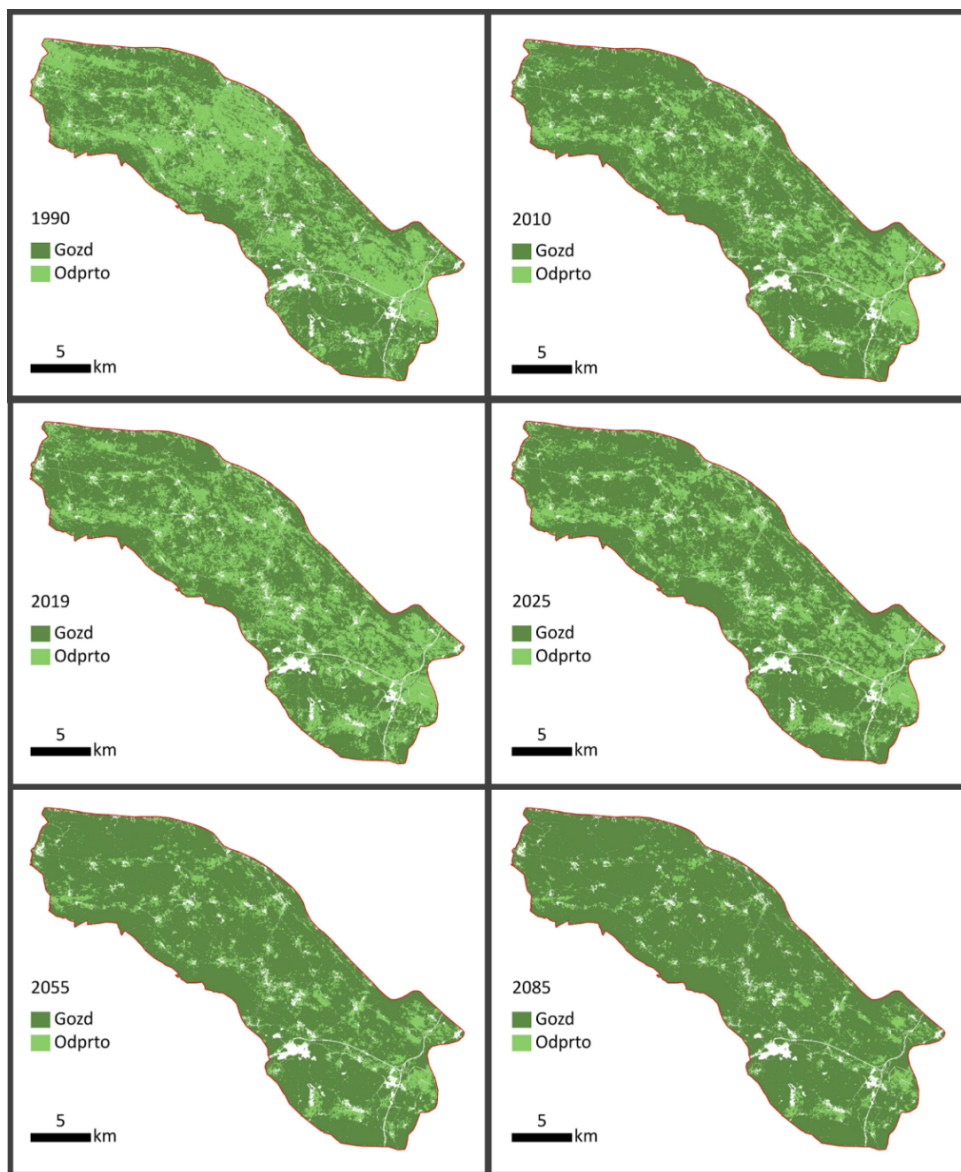
Slika 3: Potek širjenja gozdnih površin (a) in krčenja odprtih habitatov (b) na raziskovanem območju

Vir: lasten

Leta 1990 so gozdovi pokrivali predvsem površine z večjimi nakloni, ki so značilne za obrobne dele planot (pobočja Vipavske doline, doline Raše in Brestoviškega dola ter pobočja kopastih vrhov, kot so Trstelj, Veliki Ognjivec, Na Gavgah in Veliko Gradišče). Sodeč po podatkih satelitov Landsat so se gozdovi v nadaljevanju širili tudi na uravnani osrednji del Krasa. Zaraščajo se zemljišča, za katere je značilen visok in zelo visok pridelovalni potencial oziroma površine, ki so opredeljene kot zelo pomembna strateška območja za kmetijstvo (Slika 4).

Preglednica 1: Obseg gozda in odprtih habitatov

Leto	Gozd (km ²)	Gozd (%)	Stopnja širjenja (1990)	Odprti habitat (km ²)	Odprti habitat (%)	Stopnja krčenja (1990)
1990	217,62	49,5	0	190,42	43,3	0
1995	384,32	87,3	76,6	23,72	5,4	-87,5
2000	251,54	57,2	15,6	156,50	35,6	-17,8
2005	344,01	78,2	58,1	64,03	14,6	-66,4
2010	285,54	64,9	31,2	122,50	27,8	-35,7
2015	381,45	86,7	75,3	26,59	6,0	-86,0
2019	251,35	57,1	15,5	156,69	35,6	-17,7
2025	284,81	64,7	30,9	123,23	28,0	-35,3
2055	344,69	78,3	58,4	63,35	14,4	-66,7
2085	363,46	82,6	67,0	44,58	10,1	-76,6

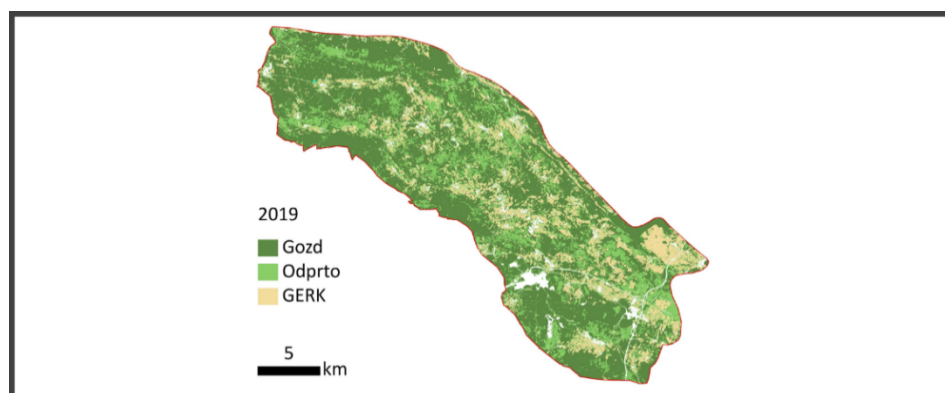


Slika 4: Spreminjanje površin gozda in odprtih habitatov v leti od 1990 do 2085

Vir: lasten.

3.3 Zaraščanje v odvisnosti od družbenih dejavnikov

Skupna površina GERK-ov na proučevanem območju je v letu 2019 znašala 63 km² (14,3 %). Največje sklenjene površine kmetijskih zemljišč so se nahajale predvsem v okolici Dolenje vasi oziroma na JV delu proučevanega območja. Najmanj kmetijskih zemljišč je na SZ delu, ki je poraščeno z gozdom že od prvega leta v obravnavani časovni vrsti. Analiza zveze trenda zaraščanja z izbranimi socio-ekonomskimi kazalci (površina GERK, starost nosilca kmetijskega gospodarstva, ki upravlja kmetijsko zemljišče, in število GVŽ) na nivoju kmetijskih gospodarstev je pokazala, da zaraščanje na Krasu nikakor ni odvisno le od naravnih dejavnikov, ampak pri tem igrajo ključno vlogo tudi družbene razmere.



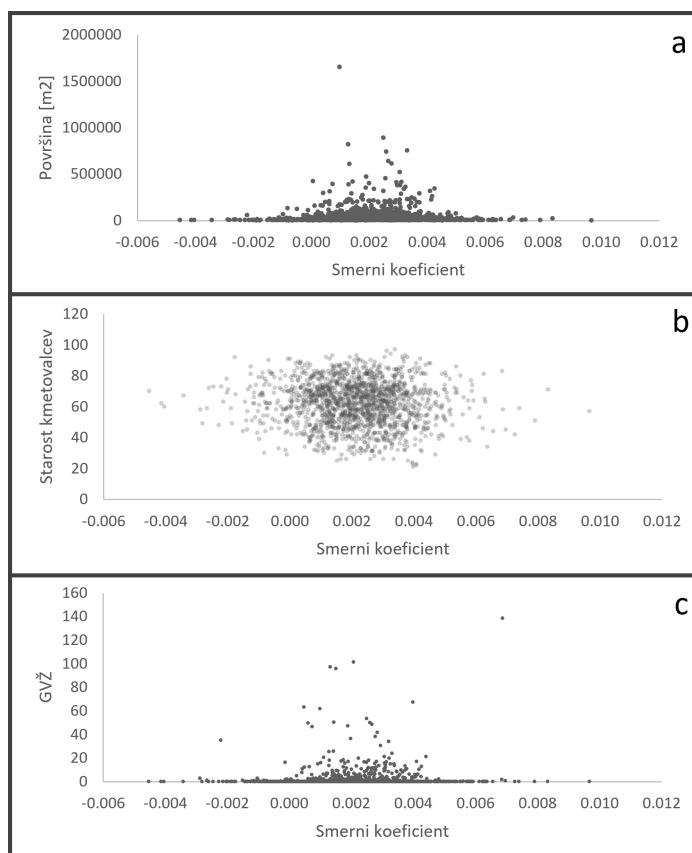
Slika 5: Površine gozda, odprtih habitatov in GERK leta 2019

Vir: lasten.

Velikost najmanjšega kmetijskega zemljišča je bila 0,007 ha, največjega 165 ha, povprečnega pa 3,7 ha. Prevladujejo manjša kmetijska zemljišča pod 2 ha. Najintenzivnejše zaraščanje je značilno za manjša kmetijska zemljišča, večja kmetijska zemljišča nad 2 ha se zaraščajo počasneje, oziroma se ne zaraščajo. Hkrati je za nekatera manjša zemljišča značilen negativen trend zaraščanja oziroma krčenje gozda (Slika 6a).

Starost najstarejšega nosilca kmetijskega gospodarstva je znašala 99 let, najmlajšega 21 let, povprečnega pa 62 let. Prevladujejo nosilci, stari 70 let. Glede na starost je največje zaraščanje značilno za kmetijska zemljišča z nosilci, starimi od 40 do 80 let. Za mlajše nosilce je značilna nižja stopnja zaraščanja (Slika 6b).

Največje število GVŽ na kmetijskem gospodarstvu je bilo 138,65, povprečno pa 1,6. Prevladujejo kmetijska gospodarstva brez živali. Najintenzivnejše zaraščanje je značilno za kmetijska zemljišča, ki jih upravljajo kmetijska gospodarstva brez ali z majhnim številom GVŽ, medtem ko se kmetijska zemljišča, ki jih upravljajo kmetijska gospodarstva z več kot 10 GVŽ, zaraščajo počasneje, oziroma ne zaraščajo (Slika 6c).



Slika 6: Zveza med smernim koeficientom kazalca NDVI ter a) površinami GERK, b) starostjo nosilca kmetijskega gospodarstva in c) povprečnim številom glav velike živine

Vir: lasten.

4 Diskusija

O trendu zaraščanja odprtih površin na predelu proučevanega območja poročajo tudi drugi avtorji [27]. Kaligarič in Ivajnsič sta v študiji iz leta 2014 napovedala, da bi lahko 88 % matičnega Krasa do leta 2075 poraščal gozd. Tudi naši rezultati (na sicer večjem območju) potrjujejo tovrstno usodo odprtih površin na Krasu (razlika približno 10 odstotnih točk).

Z raziskavo smo dokazali, da sta pri zaraščanju Krasa pomembna naravna dejavnika čas in temperatura zraka. Glede na podnebne modele se bo povprečna temperatura zraka v Mediteranu povišala. Tovrstne spremembe podnebnih kazalcev lahko vplivajo na interakcijo rastlin s tlemi [38], na vrstno sestavo in smrtnost mlajših rastlin, kar v prednostni položaj postavlja vrste s širokim strpnostim območjem (generaliste) [39]. Posledično lahko pričakujemo, da se bo z nadaljnjim segrevanjem ozračja zaraščanje postopoma upočasnilo. Kras bo postopoma bolj podoben Mediteranu, kjer je sekundarna sukcesija že počasnejša [14]. Zveza čas-NDVI zaenkrat (v obdobju 1990–2019) kaže popolno nasprotje. Višje povprečne temperature zraka delujejo kot pospeševalec, in ne kot zaviralec procesa sukcesije.

S spremembo rabe prostora se lahko spremenijo tudi mikropodnebni pogoji. Tako se na Krasu zaradi procesa ogozdovanja povečuje evapotranspiracija [10]. Negativen vpliv povečane evapotranspiracije (predvsem poleti) se lahko kaže v večji požarni ogroženosti, saj se z izsuševanjem tal in dehidracijo vegetacije večja gorljivost [40]. Predvsem vmesna stopnja sukcesije med traviščem in gozdom, pri kateri se površine zaraščajo z grmovnimi vrstami (brin, dren, ruj), je najbolj dovzetna za požare [41]. Prav tako se lahko povečana evapotranspiracija v kombinaciji s prepustno litološko podlago manifestira v intenzivnejših sušah na tem območju [2].

Kljub velikem vplivu naravnih dejavnikov ti niso edini pospeševalec zaraščanja. Vsekakor je hitrost zaraščanja odprtih habitatov na Krasu povezana tudi z negativnimi družbenogospodarskimi procesi, kot so deagrarizacija in depopulacija [5], [14], z velikostjo kmetijskega gospodarstva, starostno strukturo nosilcev in številom glav velike živine (GVŽ) na kmetijsko gospodarstvo. Stopnja zaraščanja je največja na zemljiščih pod 2 ha z nosilci, starejšimi kot 40 let, ki skrbijo za manj kot 10 GVŽ. Gledano s perspektive kmetijstva je z ogozdovanjem ogrožena ena najpomembnejših funkcij tal, tj. proizvodnja hrane [42]. Ob tem je obveza države

vzdrževanje obstoječih habitatov Vzhodna submediteranska suha travišča (*Scorzoneralia villosae*), saj je skoraj celotno območje zaščiteno kot Natura 2000 [14].

Ogozdovanje ni nujno negativno, saj ima gozd tudi ekosistemsko in gospodarsko vrednost. Gospodarsko najpomembnejši gozdovi na Krasu so v združbi hrasta gradna in jesenske vilovine (*Seslerio-Quercetum petraeae*), varovalno pomembna je tudi združba puhastega hrasta in gabra (*Ostryo-Quercetum pubescentis*), saj blažita vpliv vremenskih ujm in erozije [5]. Ob vlogah omenjenih vrst imajo te skupaj z drugimi drevesnimi vrstami danes pokrajnotvorno vlogo. Kljub velikemu potencialu je gospodarska vloga kraških gozdov neizkoriščena zaradi prevladujočega zasebnega lastništva gozdov, v katerih posekajo manj lesa [5].

Zaradi negativnih učinkov večanja obsega gozda, ki se na Krasu širi predvsem na naravovarstveno in kulturno pomembne travnike, so smiselni nekateri ukrepi za njihovo vzdrževanje [5], [17]:

- košnja travnikov vsako drugo leto jeseni ali zgodaj spomladi,
- občasna zmerna pašnja drobnice in goveda na pašnikih,
- odstranjevanje grmov in dreves na zaraslih površinah,
- nova pozidava znotraj obstoječih naselij,
- urejanje odlagališč in smetišč izven naravnih območij,
- obnova poti in cest do travnikov in pašnikov,
- razvoj pohodniškega turizma in gradnja športnih igrišč,
- preprečevanje erozije zaradi obremenitve z živalmi na pobočjih pašnikov,
- ponovna kmetijska raba, predvsem razvoj vinogradništva.

Ob omenjenih ukrepih je smiselno vključevanje v kmetijsko-okoljsko-podnebna plačila (KOPOP). Njihov glavni namen je uveljavljanje nadstandardnih sonaravnih kmetijskih praks, ki prispevajo k ohranjanju biodiverzitete, vode in tal ter blaženju in prilagajanju na podnebne spremembe. Od 19 operacij jih 7 vključuje različne tipe travnikov [43]. Kljub velikemu pomenu se kmetijska gospodarstva v Sloveniji ne vključujejo v dovoljšni meri v ukrepe, ki so namenjeni ohranjanju travišč [44], saj je vključenih samo 3 % travišč z visoko naravovarstveno vrednostjo [14]. S poenostavljanjem birokratskih postopkov, informiranjem upraviteljev, višjimi

denarnimi nadomestili in možnostjo vključevanja manjših zemljišč bi se delež lahko zvišal [44], kar bi lahko omejilo zaraščanje. Vpliv subvencij je bil opazen leta 2004, ko se je Slovenija pridružila EU in se je rahlo povečala reja ovac, kar je vplivalo tudi na znižanje stopnje zaraščanja [14]. Ob KOPOP velja omeniti tudi program projektov LIFE, v sklopu katerega financirajo naravovarstvene in podnebne akcije [45]. Na Krasu je bil leta 2005 izveden LIFE projekt, v sklopu katerega je bilo med ostalim obnovljenih 300 ha suhih travišč [46]. Prav tako so pomembni kohezijski projekti, s katerimi financirajo akcije na terenu in izplačujejo nadomestila kmetovalcem, kot so Kras.re.vita [46], ZA KRAS [47], PIVKA.KRAS.PRESIHA [48].

Prihodnji razvoj Krasa bi bil lahko usmerjen v ekstenzivno rejo drobnice na ekstenzivnih traviščih, kar lahko prepreči njihovo zaraščanje in napredovanje gozda. Potrebno je spodbujanje mlajših nosilcev dejavnosti, ki so na Krasu trenutno v manjšini, saj prevladujejo nosilci, starejši od 60 let. Ob tem je zaželeno povezovanje kmetijskih zemljišč s podobno strategijo upravljanja, saj je na teh opazna manjša stopnja zaraščanja.

Zahvale

Študijo je omogočila programska skupina P6-0372 (»Slovenska identiteta in kulturna zavest v jezikovno in etnično stičnih prostorih v preteklosti in sedanjosti«).

Literatura

- [1] U. Stepišnik, „Sediments in collapse dolines on the Kras plateau, Slovenia“, *Acta geographica Slovenica*, let. 51, št. 2, str. 233–252, 2011.
- [2] D. Ogrin in D. Plut, *Aplikativna fizična geografija Slovenije*. Ljubljana: Filozofska fakulteta UL, 2009.
- [3] ARSO, „Osnovna statistika za leto: 2016“, 2016. <http://www.meteo.si/met/sl/climate/tables/yearbook/2016/>
- [4] M. Culiberg, „Vegetacija Krasa v preteklosti“, v *Kras: trajnostni razvoj kraške pokrajine*, O. Luthar, H. Dobrovoljc, J. Fridl, J. Mulec, in M. Pavšek, Ur. Znanstvenoraziskovalni center SAZU, 2009, str. 100–101. [Na spletu]. Dostopno na: <https://omp.zrc-sazu.si/zalozba/catalog/book/1069>
- [5] D. Kladnik, „Širjenje gozda na Krasu kot dejavnik prostorskega razvoja“, *Geografski vestnik*, let. 83, št. 2, str. 67–80, 2011.
- [6] B. Košiček, „Spontano vračanje gozda na Kras“, *Gozdarski vestnik*, let. 52, str. 250–260, 1993.
- [7] P. Habič, „Problematika geografskega vrednotenja krasa“, *Geografski vestnik*, str. 147–157, 1979.
- [8] I. Mrak in B. Repe, „Physical geographic conditions for vine growth in the Karst region, Slovenia“, *Acta Geographica Croatica*, let. 35, str. 67–96, 2000.

- [9] M. Kaligarič, M. Culiberg, in B. Kramberger, „Recent vegetation history of the North Adriatic grasslands: expansion and decay of an anthropogenic habitat“, *Folia geobotanica*, let. 41, št. 3, str. 241–258, 2006.
- [10] D. Ivajnsič in M. Kaligarič, „Can evapotranspiration be considered an additional indicator for understanding the changed landscape identity of the classic Karst?“, *Annales. Series historia naturalis*, let. 25, št. 2, str. 173–182, 2015.
- [11] M. Kaligarič in A. Seliškar, „Flora in vegetacija Krasa“, v *Kras – pokrajina, življenje, ljudje*, Inštitut za raziskovanje krasa, 1999.
- [12] I. Gams, *Kras v Sloveniji – v prostoru in času*. Založba ZRC, 2003.
- [13] ESRI, „Esri World Topographic Map“, 2022. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=7dc6cea0b1764a1f9af2e679f642f0f5> (pridobljeno 3. februar 2022).
- [14] M. Kaligarič in D. Ivajnsič, „Vanishing landscape of the “classic” Karst: changed landscape identity and projections for the future“, *Landscape and Urban Planning*, let. 132, str. 148–158, 2014.
- [15] Y. Zhao, Z. Liu, in J. Wu, „Grassland ecosystem services: a systematic review of research advances and future directions“, *Landscape Ecology*, let. 35, št. 4, str. 793–814, 2020.
- [16] M. Kaligarič, M. Culiberg, in D. Ivajnsič, „Novejša zgodovina vegetacije na Primorskem Krasu“, 2011. [Na spletu]. Dostopno na: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=35371>
- [17] A. Seliškar, R. Slapnik, A. Pirnat, in T. Čelik, „Suha travnišča“, v *Kras: trajnostni razvoj kraške pokrajine*, O. Luthar, H. Dobrovoljc, J. Fridl, J. Mulec, in M. Pavšek, Ur. Znanstvenoraziskovalni center SAZU, 2009, str. 106–108. [Na spletu]. Dostopno na: <https://omp.zrc-sazu.si/zalozba/catalog/book/1069>
- [18] K. Kull in M. Zobel, „High species richness in an Estonian wooded meadow“, *Journal of vegetation science*, let. 2, št. 5, str. 715–718, 1991.
- [19] J. B. Wilson, R. K. Peet, J. Dengler, in M. Pärtel, „Plant species richness: the world records“, *Journal of vegetation Science*, let. 23, št. 4, str. 796–802, 2012.
- [20] J. Dengler *idr.*, „EDGG cooperation on syntaxonomy and biodiversity of Festuco-Brometea communities in Transylvania (Romania): Report and preliminary results (Vol. 4)“, Bulletin of the European Dry Grassland Group, Hamburg, 2009.
- [21] C. N. R. Critchley, M. J. W. Burke, in D. P. Stevens, „Conservation of lowland semi-natural grasslands in the UK: a review of botanical monitoring results from agri-environment schemes“, *Biological Conservation*, let. 115, št. 2, str. 263–278, 2004.
- [22] M. F. WallisDeVries, P. Poschlod, in J. H. Willems, „Challenges for the conservation of calcareous grasslands in northwestern Europe: integrating the requirements of flora and fauna“, *Biol. Conserv.*, let. 104, št. 3, str. 265–273, 2002.
- [23] D. Ivajnsič in D. Donša, „Intenzivnost podnebnih sprememb na območjih Natura 2000 v Sloveniji“, *Revija za geografijo*, let. 13, št. 2, str. 59–72, 2018.
- [24] IPCC, „Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change“, 2022. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- [25] IPCC, „Climate Change 2021. The Physical Science Basis“, 2021. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#Regional>
- [26] K. Zakšek, A. Marsetič, in Ž. Kokalj, „Izkoriščanje sončne energije na Krasu“, *Geodetski vestnik*, let. 51, št. 1, str. 35–47, 2007.
- [27] D. Ivajnsič, S. Škornik, in M. Kaligarič, „Spremembe rabe tal med leti 1830 in 2008 na območju Movraškega Krasa in na bližnjih flišnih predelih“, *Revija za geografijo*, let. 8, št. 1, str. 83–95, 2013.
- [28] D. Kladnik, F. Petek, in M. Urbanc, „Pogozdovanje in ogozdovanje“, v *Kras: trajnostni razvoj kraške pokrajine*, O. Luthar, H. Dobrovoljc, J. Fridl, J. Mulec, in M. Pavšek, Ur. Znanstvenoraziskovalni center SAZU, 2009, str. 146–154. [Na spletu]. Dostopno na: <https://omp.zrc-sazu.si/zalozba/catalog/book/1069>
- [29] USGS, „EarthExplorer“, 2022. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

- [30] Clark Labs, *TerrSet 2020 Geospatial Monitoring and Modeling Software*. 2022. [Na spletu]. Dostopno na: <https://clarklabs.org/terrset/>
- [31] CHELSA V2.1, „Climatologies“, 2022. <https://chelsa-climate.org/downloads/>
- [32] ESRI, *ArcGIS Pro*. 2021. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
- [33] R Core Team, R: *A language and environment for statistical computing*. Dunaj, Avstrija: R Foundation for Statistical Computing, 2021. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.R-project.org>
- [34] O. Gutjahr *idr.*, „Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1. 2) for the High-Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP)“, *Geoscientific Model Development*, let. 12, št. 7, str. 3241–3281, 2019.
- [35] MKGP, „Grafični podatki RABA za celo Slovenijo“, 2022. <https://rkg.gov.si/vstop/>
- [36] Earth Observing System, „NDVI“, 2020. <https://eos.com/ndvi/>
- [37] Microsoft Corporation, *Microsoft Excel*. 2022. [Na spletu]. Dostopno na: <https://office.microsoft.com/excel>
- [38] C. C. Chang in B. L. Turner, „Ecological succession in a changing world“, *Journal of Ecology*, let. 107, št. 2, str. 503–509, 2019.
- [39] W. J. Wang, H. S. He, F. R. III, J. S. Fraser, B. B. Hanberry, in W. D. Dijak, „Importance of succession, harvest, and climate change in determining future composition in US Central Hardwood Forests“, *Ecosphere*, let. 6, št. 12, str. 1–18, 2015.
- [40] D. Veble in V. Brečko Grubar, „Pogostost in obseg požarov v naravi na Krasu in v Slovenski Istri“, *Geografski vestnik*, let. 88, št. 1, str. 9–20, 2016.
- [41] M. Dolgan Petrič, „Gozdni požari na Kraškem gozdnogospodarskem območju Slovenije“, *Geografski vestnik*, str. 71–82, 1989.
- [42] I. Žiberna, „Spreminjanje rabe tal v Sloveniji v obdobju 2000-2012 in prehranska varnost“, *Revija za geografijo*, let. 8, št. 1, str. 23–40, 2013.
- [43] KOPOP, „Kmetijsko-okoljska-podnebna plačila 2015-2020“, 2021. <https://skp.si/download/kmetijsko-okoljska-podnebna-placila-predhodno-usposabljanje-2021>
- [44] D. Ivajnsič, D. Pintarič, S. Škornik, M. Kaligarič, in N. Pipenbaher, „SOSKOPOP Haloze: podporni sistem potencialnim uveljaviteljem ukrepov KOPOP na nivoju travnišč“, *Revija za geografijo-Journal for Geography*, let. 14, št. 1, str. 49–64, 2018.
- [45] LIFE, „About LIFE“, 2022. https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life/about-life_sl
- [46] LIFE III, „LIFE and Europe’s grasslands: Restoring a forgotten habitat“, 2008. <https://ec.europa.eu/environment/archives/life/publications/lifepublications/lifefocus/documents/grassland.pdf>

