

INTENZIVNOST PODNEBNIH SPREMEMB NA OBMOČJIH NATURA 2000 V SLOVENIJI

Danijel Ivajnsič

Dr., profesor biologije in geografije, docent
Oddelek za biologijo
Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Univerza v Mariboru
Koroška cesta 160, SI2000 Maribor, Slovenija
e-mail: dani.ivajnsic@um.si

Daša Donša

Diplomirana ekologinja naravovarstvenica (UN)
Kupšinci 47E,
9000 Murska Sobota
e-mail: dasa.donsa@gmail.com

UDK: 911.2:551.583:504.064

COBISS: 1.01

Izvleček

Intenzivnost podnebnih sprememb na območjih Natura 2000 v Sloveniji

Evropa ima v svetovnem merilu najgostejšo mrežo zavarovanih območij. Seveda ta območja niso nič manj pod vplivom podnebnih sprememb v primerjavi z ostalimi. Skrb vzbujajoče je dejstvo, da so napovedi glede ohranjanja podnebne primernosti za vrste evropskega pomena v nekaterih Natura 2000 območjih po Evropi, v primerjavi z nezavarovanimi območji, celo slabše. Z vidika Slovenije bodo podnebnim spremembam v drugi polovici tega stoletja, po trenutnih napovedih, tako najbolj izpostavljene živalske in rastlinski vrste v omrežju Natura 2000 submediteranske in subpanonske regije. Bolj stabilne podnebne razmere bodo v višje ležečih predelih države. Tovrstne študije, ki ponujajo objektivno oceno vpliva podnebnih sprememb v prostoru, so še kako pomembne za upravljavce in odločevalce v zavarovanih območjih, da lahko pripravljajo in potencialno realizirajo omilitvene ukrepe na ustreznih ranljivih površinah.

Ključne besede

analiza CVA, Natura 2000, podnebne spremembe, Slovenija.

Abstract

The magnitude of climate change in Natura 2000 areas in Slovenia

Europe has the world's largest network of protected areas. Of course, climate change affects these areas no less than others. However, scientists reported that forecasts on maintaining climatic suitability for species of European concern in some Natura 2000 areas across Europe are even worse compared to surrounding unprotected areas. From the Slovenian perspective, the most climate change exposed Natura 2000 areas, according to current forecasts, can be found in the Sub-Mediterranean or Sub-Pannonia regions. More stable bioclimatic conditions, as expected, are estimated in the uplands. Such studies, which offer an objective assessment of the impact of climate change in the area, are of immense importance to managers and decision-makers in protected areas in order to prepare and potentially implement mitigation measures on the relevant vulnerable areas.

Keywords

Change Vector Analysis, Climate Change, Natura 2000, Slovenia

Uredništvo je članek prejelo 23.11.2018

1. Uvod

Razumevanje ranljivosti vrst in habitatov z vidika podnebnih sprememb je ključnega pomena pri razvoju strategij ohranjanja biodiverzitete (Trouwborst 2011). Ker so sredstva za ohranjanje narave - vključno z zaščito vrst in habitatov pred podnebnimi spremembami - omejena, je v prvi fazi potrebno identificirati tiste, ki so najbolj ranljivi. Posledično se stroka s svojimi študijami s tega področja osredotoča predvsem na zavarovana območja, kjer so predlagani podnebni protiukrepi bistveno lažje izvedljivi (Bertzky in sod. 2011). Skoraj 20% ozemlja Evropske unije je zavarovanega z omrežjem Natura 2000 (Medmrežje 1), ki temelji na Evropskih Direktivah o habitatih (Uradni list L 206, 22/07/1992 str. 0007 - 0050) in pticah (Uradni list L 103, 25/04/1979 str. 0001 - 0018). Seveda ta območja niso nič manj pod vplivom podnebnih sprememb v primerjavi z ostalimi. Med glavne dejavnike podnebnih sprememb, ki vplivajo na zaščitena območja na tem mestu lahko izpostavimo: (1) spremenjen padavinski vzorec, (2) porast povprečne temperature zraka, (3) dvig morske gladine in (4) vse pogostejše in intenzivnejše vremenske ekstreme (Forden in sod., 2013). Posledice naštetega zaznavamo praktično po vsej Evropi in širše. Beležimo spremembe v številčnosti in razširjenosti organizmov (Ellwanger, Ssymank, Paulsch 2012), spremembe v ustaljenih migracijskih poteh ptic (Howard in sod., 2018), spremembe v medvrstnih in znotrajvrstnih odnosih, kot so kompeticija, parazitizem, opraševanje in plenilstvo (Ellwanger, Ssymank in Paulsch 2012), nekatere bolj ranljive vrste pa bodo še bolj nagnjene k izumrtju (Bertzky in sod. 2011). Nenazadnje na račun spremenjenih lastnosti podnebja v avtohtone habitate že vdirajo tudi neavtohtone (invazivne) vrste (Ellwanger, Ssymank in Paulsch 2012). Naštetá dejstva v stroki opravičeno vzbujajo skrb, posledično pa se večina sprašuje ali bodo območja Nature 2000 tudi v prihodnje imela enako učinkovitost pri ohranjanju narave (Araújo in sod. 2011).

Evropska komisija je s tem namenom leta 2009 realizirala projekt "Biodiverziteta in podnebne spremembe z vidika omrežja Nature 2000" (Sajwaj in sod, 2009), v katerem so vzpostavili metodologijo za identifikacijo ranljivih habitatov. Pozneje je Evropska okoljska agencija (EEA), natančneje Evropski tematski center o zraku in podnebnih spremembah (ETC/ACC) predstavil dopolnjeno in sedaj že uveljavljeno verzijo te metodologije (Harley in van Minnen 2010a; Harley in sod. 2010b). Podnebna ranljivost vrste ali habitata v omrežju Nature 2000 je določena dvostopenjsko. V prvi fazi se s pomočjo informacije o podnebni izpostavljenosti (ang. climate exposure) in občutljivosti (ang. climate sensitivity) določene vrste ali habitata izračuna potencialni učinek (faza ocene učinka ang. impact assessment). Temu sledi določanje ranljivosti pri čemer se upošteva še prilagoditvena kapaciteta (ang. adaptive capacity) vrste ali habitata (faza določanja ranljivosti ang. vulnerability assessment). Kakovost določanja podnebne ranljivosti vrste ali habitata je na ta način zelo odvisna od okoljskih in podnebnih prostorskih podatkov. Dobra prostorska in časovna ločljivosti vhodnih podatkov tako praktično zagotavljata kakovostno determinacijo ranljivosti vrst ali habitatov. Večina raziskovalcev se na tem mestu naslanja bodisi na nacionalno mrežo meritev podnebnih kazalcev ali na globalne (regionalne) podnebne modele. Prav slednji so nam omogočili, da smo dobili odgovore na naslednja raziskovalna vprašanja: (1) kakšna bo intenzivnost (jakost) podnebnih sprememb na območjih Natura 2000 v Sloveniji ob upoštevanju bioklimatskih spremenljivk baze Worldclim (Medmrežje 2) in (2) kakšna bo smer podnebnih sprememb na teh zavarovanih, za biodiverzitetu pomembnih, območjih?

2. Območje raziskave

V prispevku obravnavamo vpliv podnebnih sprememb na območja Natura 2000 v Sloveniji. Natura 2000 območja predstavljajo evropsko omrežje posebnih varstvenih območij, katerih osrednji cilj je trajnostno varovanje biodiverzitete in habitatov. Območje Nature 2000 v Sloveniji pokriva 37,46% površine, s čimer je Slovenija na samem vrhu v primerjavi z ostalimi evropskimi državami (Medmrežje 3). Prosto dostopne prostorske podatke o območju Nature 2000 v Sloveniji smo pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (Geoportal ARSO 2018). Geografska razporeditev območij Nature 2000 v Sloveniji je razpršena. Večje sklenjene zavarovane površine tako najdemo predvsem na Z (Triglavski narodni park, Kras, Vipavska dolina, Notranjska) JV (Kočevje, Suha krajina) in skrajnem SV (Goričko) države (Slike 2-7).

3. Metode dela

3.1 Podatkovne baze

Da bi odgovorili na zadana raziskovalna vprašanja smo v prvi fazi pridobili podatke s prosto dostopne podatkovne baze Worldclim (Medmrežje 2). Osredotočili smo se na bioklimatske spremenljivke (N=19) v dveh časovnih oknih (Preglednica 2). Za sedanje stanje (1970-2000) smo upoštevali bioklimatske spremenljivke različice 2.0 medtem, ko smo za prihodnje stanje uporabili različico 1.4 in časovno okno 2070. Obravnavali smo dva podnebna scenarija glede na peto poročilo medvladne organizacije o podnebnih spremembah (IPCC AR5) in sicer rcp4.5 in rcp8.5 (Preglednica 1). Da bi zajeli tudi variabilnost napovedi smo upoštevali bioklimatske podatke naslednjih globalnih podnebnih modelov: CCSM4 (ang. the Community Climate System Model), HadGEM2-ES (ang. Hadley Global Environment Model 2 - Earth System) in MPI-ESM-LR (ang. the Max Planck Institute Earth System Model). Na ta način smo ustvarili globalno podatkovno bazo, ki je vsebovala 133 bioklimatskih podatkovnih slojev (19 x sedanje stanje + ((19 x scenarij rcp4.5) x trije globalni podnebni modeli) + (19 x (scenarij rcp8.5) x trije globalni podnebni modeli) v prostorski resoluciji 1 km².

V drugi fazi pridobivanja podatkov smo na spletnem portalu Agencije Republike Slovenije za okolje (Geoportal ARSO 2018) sneli vektorske podatke o Naturi 2000 v Sloveniji. Sledilo je prostorsko poenotenje podatkov z dveh različnih baz. V nadaljevanju analize smo tako uporabljali le koordinatni sistem WGS84.

Preglednica 1: Uporabljeni globalni modeli in IPCC AR5 RCP podnebni scenariji z nekaterimi lastnostmi.

Uporabljeni globalni podnebni modeli	CCSM4	HadGEM2-ES	MPI-ESM-LR
Uporabljeni IPCC AR5 podnebni scenariji	RCP 4.5	RCP 8.5	
Sprememba sončnega obsevanja v letu 2100 po scenariju (W/m ²)	4.5	8.5	
Sprememba povprečne globalne temperature zraka v letu 2100 za scenarij (°C)	1.8 (1.1-2.6)	3.7 (2.6-4.8)	
Uporabljena časovna okna	sedanjost (1970-2000)	prihodnost (2070)	

3.2 Predpriprava podatkov

Vse podatkovne sloje (N=133) smo prilagodili velikosti raziskovalnega območja tj. države Slovenije oziroma Nature 2000 v Sloveniji. Temu je sledila standardizacija bioklimatskih spremenljivk. Da bi zmanjšali število spremenljivk a kljub temu ohranili informacije, ki jih vsebujejo, smo za vsako časovno okno, obravnavani podnebni

model in scenarij izračunali PCA (ang. Principal Component Analysis) komponente bioklimatskih spremenljivk. Informacije o lastnih vrednostih in vektorjih za sedanost so prikazane v Preglednici 2. Ker prvi dve glavni komponenti bioklimatskih spremenljivk pri vseh obravnavanih podnebnih modelih in scenarijih v povprečju pojasnita nekaj več kot 80% variabilnosti, smo v nadaljevanju analize uporabljali le ti dve. Posledično smo zmanjšali število obravnavanih spremenljivk iz 133 na 14, a ohranili informativno moč.

Preglednica 2: Uporabljene bioklimatske spremenljivke in lastni vektorji 1. in 2. PCA komponente.

Oznaka	Opis	PCA komponenta 1	PCA komponenta 2
BIO1	povprečna letna temperatura zraka (°C)	0.235	0.299
BIO2	povprečna dnevna amplituda zraka (°C)	0.213	-0.021
BIO3	izotermalnost (BIO2/BIO7)*100 (°C)	-0.010	0.035
BIO4	temperaturna sezonskost (std*100) (°C)	0.251	-0.092
BIO5	maksimalna temperatura zraka najtoplejšega mesca (°C)	0.263	0.221
BIO6	minimalna temperatura zraka najhladnejšega mesca (°C)	0.072	0.408
BIO7	letna temperaturna amplituda (°C)	0.254	-0.043
BIO8	povprečna temperatura zraka najbolj namočenega tromesečja (°C)	0.247	-0.146
BIO9	povprečna temperatura zraka najsušnejšega tromesečja (°C)	0.169	0.381
BIO10	povprečna temperatura zraka najtoplejšega tromesečja (°C)	0.252	0.251
BIO11	povprečna temperatura zraka najhladnejšega tromesečja (°C)	0.160	0.395
BIO12	letna količina padavin (mm)	-0.283	0.133
BIO13	količina padavin najbolj namočenega mesca (mm)	-0.277	0.105
BIO14	količina padavin najsušnejšega mesca (mm)	-0.263	0.225
BIO15	sezonskost padavin (kocinet variacije)	0.080	-0.307
BIO16	količina padavin najbolj namočenega tromesečja (mm)	-0.278	0.094
BIO17	količina padavin najsušnejšega tromesečja (mm)	-0.266	0.220
BIO18	količina padavin najtoplejšega tromesečja (mm)	-0.270	-0.089
BIO19	količina padavin najhladnejšega tromesečja (mm)	-0.257	0.243

3.2 Analiza CVA

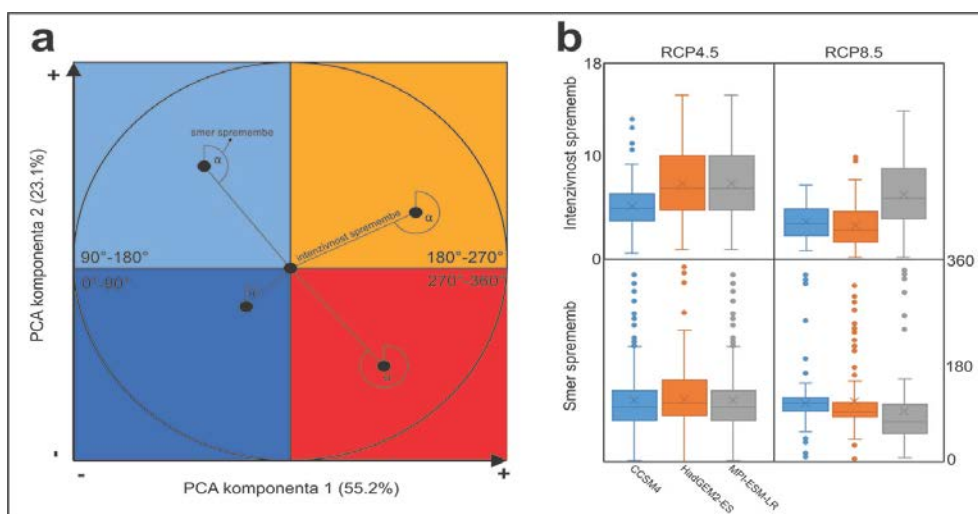
Da bi prikazali intenzivnost sprememb podnebnih lastnosti na obravnavanem območju, smo uporabili analizo CVA (ang. Change Vector Analysis) v sklopu orodja TerrSet (Eastman 2016). Ta analiza se pogosto uporablja za primerjavo parov večspektralnih podob (Johnson in Kasischke, 1998; Lilles in sod. 2004). Tako smo prvi dve glavni komponenti bioklimatskih spremenljivk v vsakem časovnem oknu (sedanjost in 2070), obravnavanem scenariju (rcp4.5 in rcp8.5) in globalnem podnebnem modelu (CCSM4, HadGEM2-ES in MPI-ESM-LR) uporabili kot vhodna kanala. Rezultata analize CVA sta intenzivnost oziroma magnituda sprememb (ang. change magnitude) z enoto, ki je enaka vhodnim podatkom ter smer sprememb (ang. change direction), merjena z kotom (azimutom), ki je določen z premikom v sprektalnem prostoru vhodnih kanalov (v našem primeru 1. in 2. PCA komponenta). Posledično smo dobili informacijo o intenzivnosti, prostorski razsežnosti ter smeri podnebnih sprememb na obravnavanem območju Nature 2000 v Sloveniji.

V zaključni fazi smo izračunali še povprečno intenzivnost in smer sprememb za vsak Natura 2000 poligon in tako oblikovali šest (6) tematskih kart, ki podajajo informacijo o jakosti in smeri podnebnih sprememb z vidika bioklimatski spremenljivk na naravovarstveno pomembnih površinah v Sloveniji. Za realizacijo le tega smo

uporabili orodje zonalne statistike (ang. Zonal Statistics) v sklopu programa ArcGIS (ESRI 2018).

4. Rezultati in diskusija

Evropa ima v svetovnem merilu najgostejšo mrežo zavarovanih območij. Kriteriji za izbor le-teh so sicer številni vendar pa ne vključujejo vplivov podnebnih sprememb (Araujo in sod., 2011). Prav zaradi tega se lahko upravičeno sprašujemo kako dolgo bo ohranjanje biodiverzitete na teh območjih še dovolj učinkovito skozi prizmo podnebnih sprememb? Rezultati prispevka kažejo, da bo intenzivnost podnebnih sprememb na podlagi bioklimatskih spremenljivk v Sloveniji značilno različna. V splošnem lahko izpostavimo, da bodo na območjih Nature 2000 zaznavne večje spremembe podnebnih lastnosti ob koncu stoletja že v primeru realizacije bolj optimističnega podnebnega scenarija RCP 4.5 (Preglednica 1). Hkrati ugotavljamo tudi značilno variabilnost napovedi pri obravnavanih, sicer na globalni ravni primerljivih (Sanderson, Knutti in Caldwell 2015), globalnih podnebnih modelih tako v scenariju RCP 4.5 kot v scenariju RCP 8.5 (Slika 1b). Še najbolj optimističen rezultat z vidika pričakovane intenzivnosti podnebnih sprememb na območju Nature 2000 v Sloveniji ponuja globalni podnebni model CCSM4. Bolj pesimistične pa so napovedi ob upoštevanju podnebnih modelov HadGEM2-ES in MPI-ESM-LR, ki sta sicer v evropskem merilu bolj zanesljiva v primerjavi z modelom CCSM4 (Krystufek in sod. 2018). Zanimiva je izračunana smer podnebnih sprememb, ki je v primerjavi z intenzivnostjo bolj enotna pri vseh obravnavanih podnebnih modelih in scenarijih. Večina napovedi tako predvideva spremembe podnebja v smeri lastnosti, ki jih kodirajo nižje vrednosti prve (BIO12, 13, 14, 16, 17, 18 in 19) in druge PCA komponente (BIO2, 4, 7, 8, in 15) ali višje vrednosti druge PCA komponente (BIO1, 6, 9, 11, 14, 17 in 19) (Slika 1a, Preglednica 2). Na tem mestu je potrebno poudariti, da si lahko predvideno smer podnebnih sprememb pri poligonih, ki imajo hkrati nizko intenzivnost (torej majhno dolžino vektorja v koordinatnem sistemu prve in druge PCA komponente) razlagamo zelo relativno saj gre za zelo majhen premik v multivariatnem prostoru bioklimatskih spremenljivk.

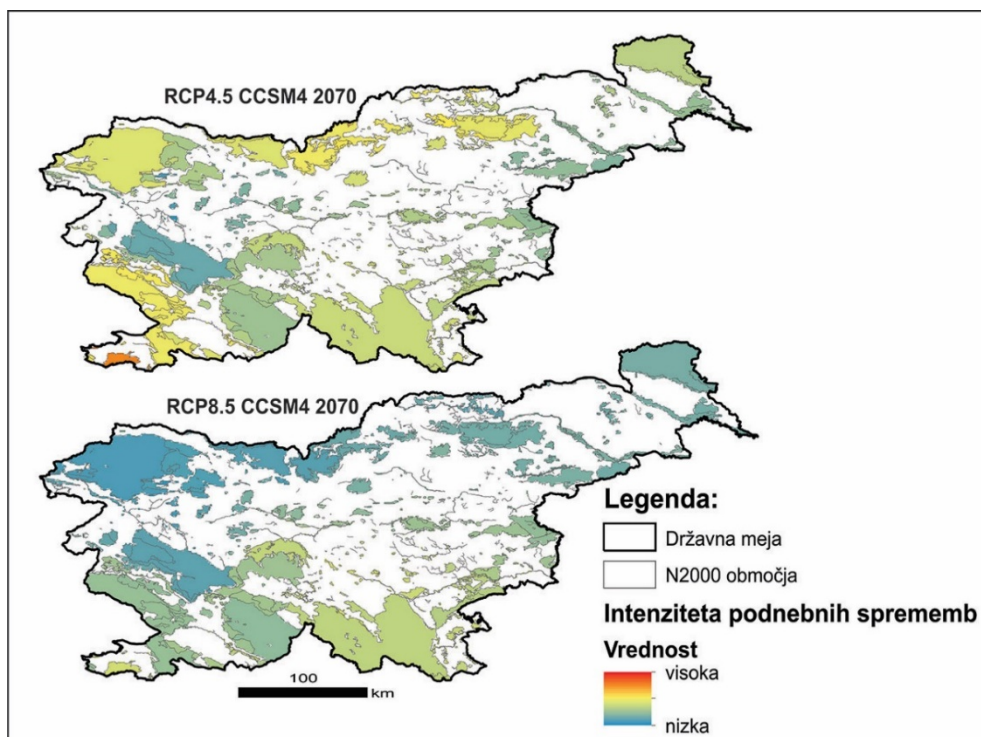


Slika 1: Shematski prikaz računanja intenzivnosti in smeri podnebnih sprememb z analizo CVA na območju Nature 2000 v Sloveniji v prostoru 1. in 2. PCA komponente

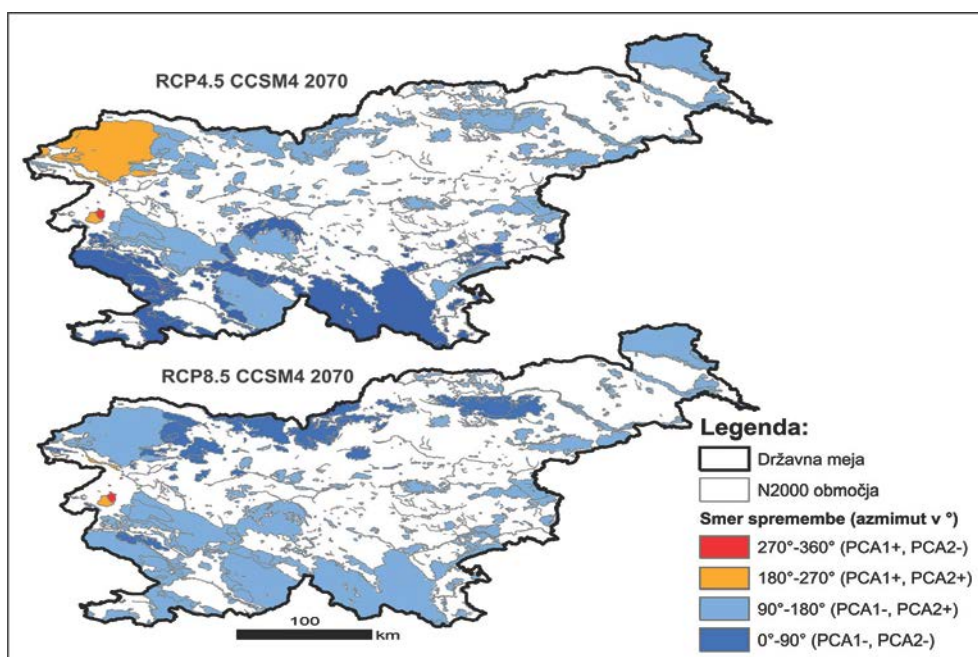
(a) ter prikaz intenzivnosti in smeri sprememb po uporabljenih globalnih podnebnih modelih in scenarijih (b).

Če na intenziteto in smer predvidenih sprememb pogledamo še z regionalnega vidika opazimo, da bi se lahko v bližnji prihodnosti na območjih Nature 2000 v Sloveniji oblikovali značilni prostorski vzorci z bodisi bolj ali manj spremenjenimi bioklimatskimi lastnostmi (Slika 2-7).

Model CCSM4 nakazuje na morebitne intenzivnejše spremembe predvsem v JZ in JV delu Slovenije (Slika 2). Še posebej lahko izpostavimo območje submediteranske Slovenije v primeru realizacije scenarija RCP 4.5. Pričakovane spremembe podnebja bi v tem primeru bile usmerjene k lastnostim z negativnim predznakom na prvi in drugi PCA komponenti (Slika 2). Torej spremembam bioklimatskih spremenljivk BIO12 do BIO19 (brez BIO15) in BIO2, 4, 7, 8, in 15. Predvsem Natura 2000 območja v SZ Sloveniji (Triglavski narodni park z okolico) nakazujejo morebitno dokaj stabilno stanje tudi v najbolj pesimistične podnebnem scenariju (RCP 8.5) ob koncu stoletja. Posledično na teh območjih težko govorimo o kakršnikoli smeri podnebnih sprememb. Tako naši rezultati sovpadajo z ugotovitvami številnih avtorjev (Peterson 2003; Loarie in sod. 2009; Araujo 2011), ki poudarjajo, da bodo v prihajajočem toplejšem obdobju, gorati predeli služili kot refugij za mnoge vrste.



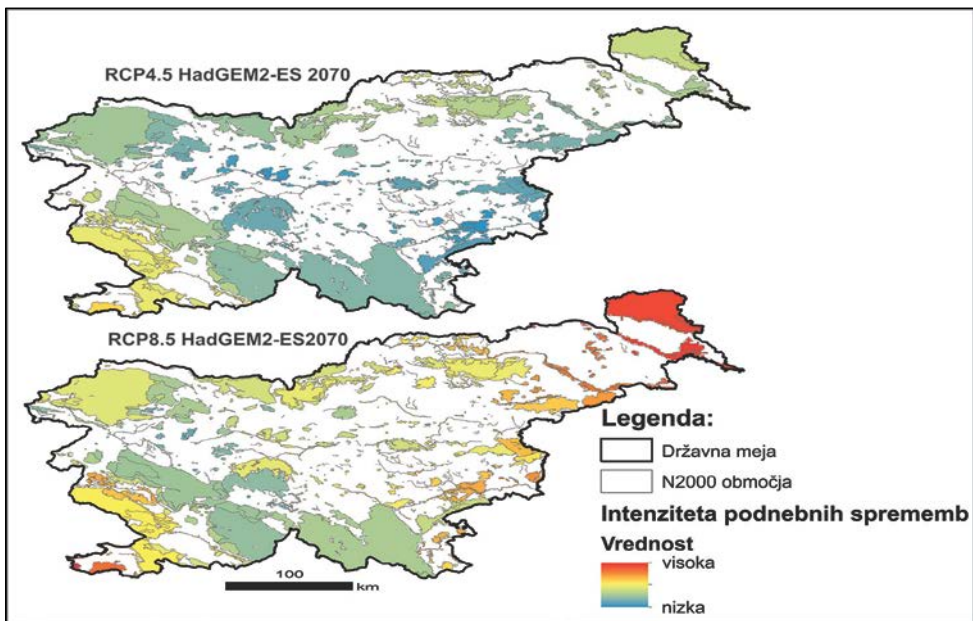
Slika 2: Intenzivnost sprememb bioklimatskih lastnosti na območjih Nature 2000 v Sloveniji v luči globalnega podnebnega modela CCSM4 in scenarijev RCP 4.5 in RCP 8.5 za leto 2070.



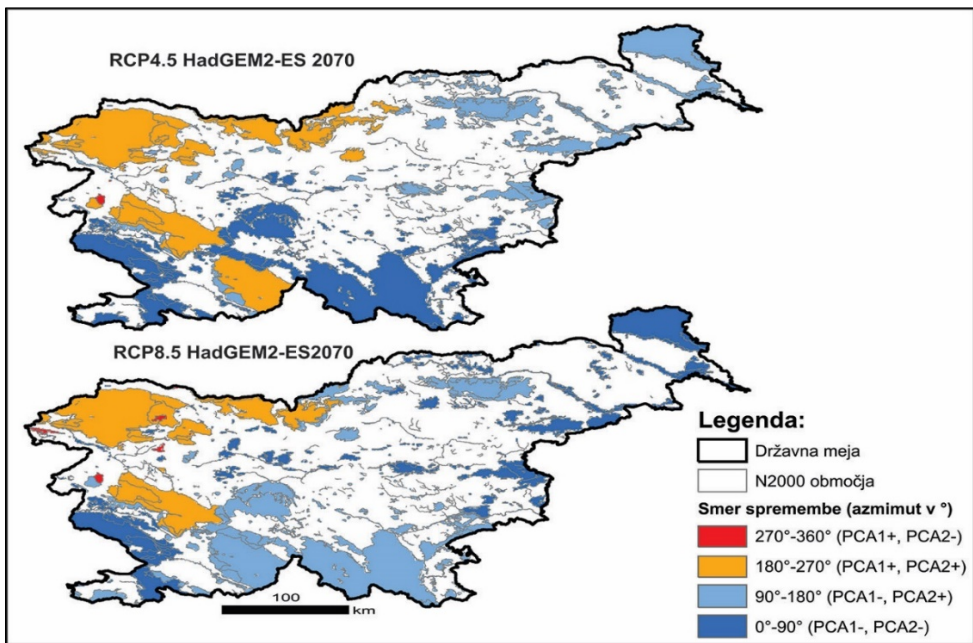
Slika 3: Smer sprememb bioklimatskih lastnosti na območjih Nature 2000 v Sloveniji v luči globalnega podnebne modela CCSM4 in scenarijev RCP 4.5 in RCP 8.5 za leto 2070.

Podnebni model HadGEM2-ES že v sklopu scenarija RCP 4.5 nakazuje potencialni prostorski trend intenzivnosti podnebnih sprememb, ki se potem v scenariju RCP 8.5 le še stopnjuje (še posebej v subpanonski Sloveniji). Tako po modelu HadGEM2-ES ob koncu stoletja lahko pričakujemo drastične podnebne spremembe v zavarovanih območjih na SV in JZ države. V obeh najbolj izpostavljenih območjih je predvidena smer sprememb dokaj enotna, bodisi v smeri bioklimatskih lastnosti z negativnim predznakom na prvi in drugi PCA komponenti ali k lastnostim z negativnim predznakom na prvi in pozitivnim predznakom na drugi PCA komponenti (Preglednica 2). Nekoliko manj intenzivne spremembe lahko pričakujemo na Natura 2000 območjih, ki ležijo na višji nadmorski višini (Alpe, Karavanke in visoke dinarske planote celinske Slovenije) (Slika 4). Na teh območjih se pričakuje sprememba podnebja k bioklimatskim kazalcem, ki so kodirani z pozitivnim predznakom tako na prvi kot na drugi PCA komponenti (Slika 5; Preglednica 2).

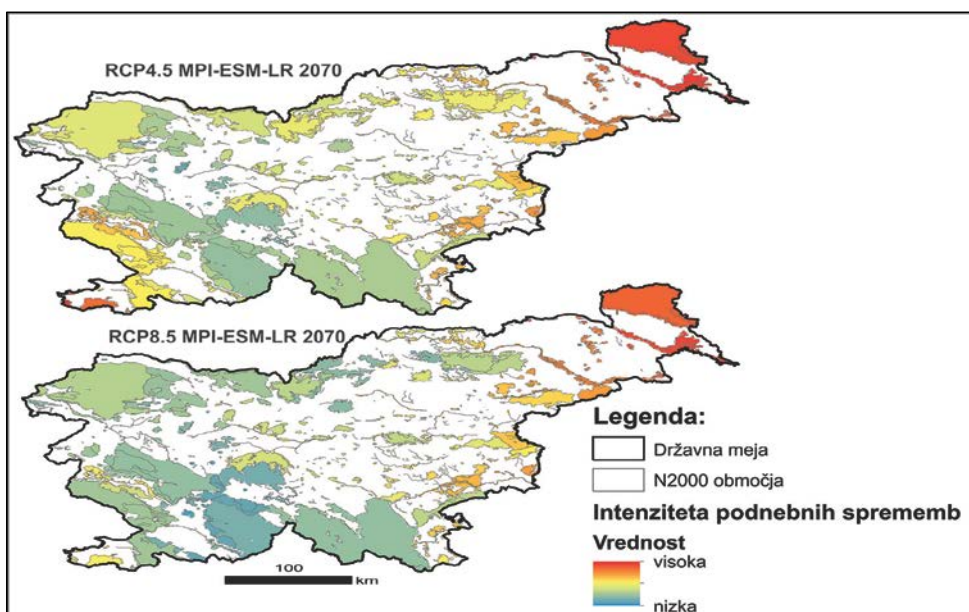
Najbolj pesimistična napoved sprememb lastnosti podnebja na območjih Nature 2000 v Sloveniji je rezultat uporabe globalnega podnebne modela MPI-ESM-LR. Tako scenarij RCP 4.5 kot scenarij RCP 8.5 napovedujeta visoko intenzivnost podnebnih sprememb praktično na celotnem Natura 2000 omrežju v Sloveniji, še zlasti pa v SV (subpanonskem) delu. Po potencialni intenzivnosti podnebnih sprememb za SV delom države nekoliko zaostaja JZ (submediteranski) del. Najmanj intenzivne spremembe lahko pričakujemo na skrajnem južnem delu države (Slika 6). Po predvideni smeri sprememb sta si modela HadGEM2-ES in MPI-ESM-LR zelo podobna. Tudi tukaj po predvideni intenzivnosti najbolj izpostavljena območja težijo k spremembi podnebnih lastnosti v negativni smeri obeh PCA komponent (Preglednica 3).



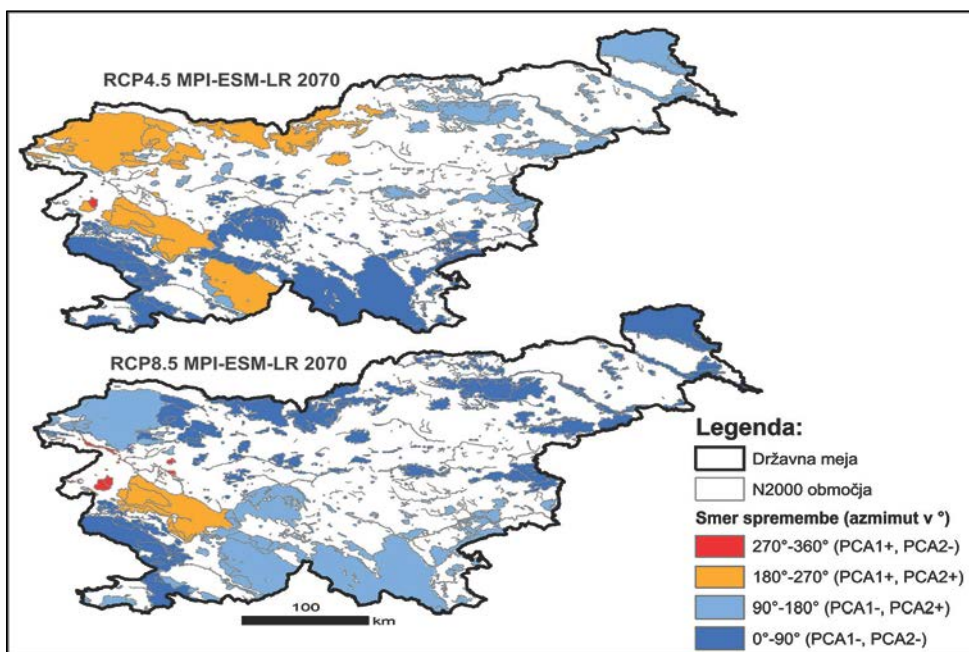
Slika 4: Intenzivnost sprememb bioklimatskih lastnosti na območjih Nature 2000 v Sloveniji v luči globalnega podnebnega modela HadGEM2-ES in scenarijev RCP 4.5 in RCP 8.5 za leto 2070.



Slika 5: Smer sprememb bioklimatskih lastnosti na območjih Nature 2000 v Sloveniji v luči globalnega podnebnega modela HadGEM2-ES in scenarijev RCP 4.5 in RCP 8.5 za leto 2070.



Slika 6: Intenzivnost sprememb bioklimatskih lastnosti na območjih Nature 2000 v Sloveniji v luči globalnega podnebnega modela MPI-ESM-LR in scenarijev RCP 4.5 in RCP 8.5 za leto 2070.



Slika 7: Smer sprememb bioklimatskih lastnosti na območjih Nature 2000 v Sloveniji v luči globalnega podnebnega modela MPI-ESM-LR in scenarijev RCP 4.5 in RCP 8.5 za leto 2070.

Rezultati te raziskave tako sovpadajo z ugotovitvami Arauja in sod. 2011, ki izpostavljajo problematiko izgube ustreznosti podnebja do leta 2080 za številne rastlinske in vretenčarske vrste v zavarovanih območjih Evrope. Avtorji te študije predvidevajo, da bo na območjih Natura 2000 v Evropi, zaradi podnebnih sprememb, do konca stoletja prizadetih $63 \pm 2.1\%$ vrst evropskega pomena. Skrb vzbujajoče je dejstvo, da so napovedi glede ohranjanja podnebne primernosti za vrste evropskega pomena v nekaterih Natura 2000 območjih, v primerjavi z nezavarovanimi območji, celo slabše. Vzpodbudnejši so rezultati v zavarovanih območjih državnega pomena širom Evrope, v katerih se bodo predvidoma veliko bolje ohranile vrste v primerjavi z nezavarovanimi območji. Sledenje si lahko razlagamo s prostorsko razporeditvijo nacionalnih parkov v Evropi, ki so po večini locirani v goratih predelih držav in na ta način delujejo kot podnebni refugiji. Na drugi strani so vrste v omrežju Natura 2000 bolj ranljive, saj je v omrežje vključenih več ravninskih predelov, posledično pa so na teh območjih relativne izgube rangov razširjenosti vrst večje (Peterson 2003; Loarie in sod. 2009; Araujo 2011). Praktično gre za trende, ki jih lahko beležimo tudi na globalnem nivoju. Permesan in Yohe (2003) na podlagi vzorca 1700 vrst ugotavljata značilen povprečen premik njihovih rangov razširjenosti proti poloma za 6.1 km na desetletje in značilen povprečni napredek spomladanskih dogodkov (v srednjih geografskih širinah) za 2.3 dni na desetletje. Danes lahko torej z veliko gotovostjo trdimo, da podnebne spremembe vplivajo na ekosisteme in jih dejansko tudi spreminjajo bodisi na globalnem, regionalnem ali lokalnem nivoju. Kakorkoli, naravovarstvena stroka se bo v prihodnje vsekakor morala spopadati z spremenjenimi prostorskimi vzorci biodiverzitete, saj bodo številne pomembne vrste izpostavljene večjemu tveganju izumrtja zaradi predvidene intenzitete podnebnih sprememb v prihajajoči drugi polovici stoletja. Čeprav bi zmanjšanje emisij toplogrednih plinov pomagalo ublažiti podnebne vplive na biotsko raznovrstnost, bi za ohranitev le-te potrebovali pristope, ki presegajo tiste, ki se trenutno izvajajo v Evropi. Ena od možnosti je prerazporeditev obstoječih zavarovanih območij in določitev novih (Fuller in sod. 2010) ter vzpostavitev mehanizmov za integrirano upravljanje prostora, da se omogoči zadostna povezljivost za nemoten transfer vrst med zavarovanimi območji. Z tega vidika so študije, ki ponujajo objektivno oceno vpliva podnebnih sprememb v prostoru še kako pomembne za upravljavce in odločevalce v zavarovanih območjih, da lahko pripravljajo in potencialno realizirajo omilitvene ukrepe na ustreznih, ranljivih površinah. Z vidika Slovenije bodo podnebnim spremembam v drugi polovici tega stoletja, po trenutnih napovedih, tako najbolj izpostavljene živalske in rastlinski vrste v zavarovanih območjih submediteranske in subpanonske regije.

5. Zaključek

Posledice antropogeno pospešenih podnebnih sprememb postajajo vedno bolj očitne. Neglede na to, da stroka že več kot 20 let neprestano opozarja na spremenjene vzorce podnebnih lastnosti, se v nekaterih razvitih državah to problematiko še vedno obravnava kot nekaj postranskega. Ker časa za preprečevanje posledic podnebnih sprememb ni več veliko, se recentne okoljske raziskave večinoma osredotočajo bodisi na strategije prilagajanja na spremenjene vzorce podnebnih lastnosti ali pa na posamezne omilitvene ukrepe na lokalnem oziroma regionalnem nivoju. Zavarovana območja so praktično idealen raziskovalni poligon za tovrstne študije, saj je na teh obočjih vpliv človeka nekoliko omejen ali pa celo minimalen. Seveda so ta območja enako podvržena trendom podnebnih sprememb. Strokovnjaki ocenjujejo, da bo v Evropi do konca stoletja zaradi podnebnih sprememb ogroženih 63% pomembnih vrst. V Sloveniji bodo spremenjenim podnebnim lastnosti najverjetneje najbolj izpostavljena zavarovana območja, ki ležijo v submediteranskem in subpanonskem

podnebnem tipu. Dva od treh uporabljenih globalnih podnebnih modelov (HadGEM2-ES in MPI-ESM-LR) nakazujeta visoko intenzivnost sprememb podnebnih značilnosti v teh dveh regijah. Predvidena smer je pri vseh obravnavanih podnebnih modelih in scenarijih (RCP 4.5 in RCP 8.5) bolj enotna. Bolj se bodo spremenile vlažnostne kot pa temperaturne razmere. Poudariti velja, da je potrebno smer sprememb bioklimatskih lastnosti na tistih Natura 2000 območjih z predvideno nizko intenzivnostjo vzeti zelo relativno. Neglede na to, so prognoze še kako pomembna komponenta prostorskega planiranja zato število tovrstnih študij razumljivo narašča.

Literatura

- Araújo, M.B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogués-Bravo, D., Thuiller, W., 2011. Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 14, 484-492.
- Bertzky, M., Dickson, B., Galt, R., Glen, E., Harley, M., Hodgson, N., Keder, G., Lysenko, I., Pooley, M., Ravilious, C., Sajwaj, T., Schiopu, R., Soye, Y., Tucker, G., 2011. Impacts of climate change and selected renewable energy infrastructures on EU biodiversity and the Natura 2000 network -Summary Report. URL: <http://ec.europa.eu/environment/nature/climatechange/pdf/study.pdf>.
- Direktiva Sveta o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst (92/43/EGS). 1992. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31992L0043:SL:HTML> (16. 11. 2018).
- Direktiva Sveta o hranjanju prosto živečih ptic (79/409/EGS). 1979. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31979L0409:SL:HTML> (16. 11. 2018).
- Eastman, J.R. 2016. *TerrSet*, Clark Labs-Clark University, Worcester, 45.
- Ellwanger, G., Ssymank, A., Paulsch, C., 2012. *Natura 2000 and Climate Change - a Challenge*. Münster, Germany, Landwirtschaftsverlag, 201 str. URL: https://www.researchgate.net/publication/278675343_Natura_2000_and_Climate_Change_-_a_Challenge.
- ESRI, 2018. *ArcGIS Desktop: Release 10.6*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Foden, W.B., Butchart, S.H.M., Stuart, S.N., Vie ^ˆ J-C, Akcakaya, H.R., in sod. 2013. Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLoS ONE* 8(6): e65427. doi:10.1371/journal.pone.0065427.
- Fuller, R.A., McDonald-Madden, E., Wilson, K.A., Carwardine, J., Grantham, H.S., Watson, J.E.M. in sod. 2010. Replacing underperforming protected areas achieves better conservation outcomes. *Nature*, 466, 365–367.
- Geoportal ARSO. Agencija RS za okolje. URL: <https://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page> (16. 11. 2018).
- Harley, M. in van Minnen., J. 2010a. *Adaptation Indicators for Biodiversity*. ETC/ACC Technical Paper 2010/15.
- Harley M., Chambers, T., Hodgson, N., van Minnen, J., & Pooley, M. 2010b. A methodology for assessing the vulnerability to climate change of habitats in the Natura 2000 network. ETC/ACC Technical Paper 2010/14.

- Howard, C., Stephens, P.A., Tobias, J.A., Sheard, C., Butchart, S.H.M., Willis, S.G. 2018. Flight range, fuel load and the impact of climate change on the journeys of migrant birds. Royal Society Publishing, str. 285.
- Johnson, R.D., Kasischke, E.S. 1998. Change vector analysis: A technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. *International Journal for Remote Sensing* 19(3):411–426. <https://doi.org/10.1080/014311698216062>
- Krystufek, B., Zorenko, T.A., Bontzorlos, V., Mahmoudi, A., Atanasov, N., Ivajnsič, D. 2018. Incipient road to extinction of a keystone herbivore in south-eastern Europe: Harting's vole (*Microtus hartingi*) under climate change. *Climatic Change*, 149(3-4), 443-354. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2259-2>
- Lilles, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- Loarie, S.R., Duffy, P.B., Hamilton, H., Asner, G.P., Field, C.B., Ackerly, D.D. 2009. The velocity of climate change. *Nature*, 462, 1052–1055.
- Permesan, C., Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Peterson, A.T. 2003. Projected climate change effects on Rocky Mountain and Great Plain birds: generalities of biodiversity consequences. *Global Change Biology*, 9, 647–655.
- Sanderson, B.M., Knutti, R. & Caldwell, P. 2015. A Representative Democracy to Reduce Interdependency in a Multimodel Ensemble. *Journal of Climate*, 28, 5171–5194.
- Sajwaj T, G. Tucker, M. Harley, de Soye, Y. 2009 . Impacts of climate change and selected renewable energy infrastructures on EU biodiversity and the Natura 2000 network. Task 2a – An assessment framework for climate change vulnerability: methodology and results. AEA.
- Trouwborst A. 2011. Conserving European Biodiversity in a Changing Climate: The Bern Convention, the EU Birds and Habitats Directives and the Adaptation of Nature to Climate Change, 20(1) Review of European Community and International Environmental Law, pp. 62-77.
- Medmrežje 1: Natura 2000. Evropska Komisija. 2009. URL: http://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/nat2000/factsheet_sl.pdf (15. 11. 2018).
- Medmrežje 2: Worldclim podatkovna baza. URL: <http://worldclim.org/> (15.11.2018)
- Medmrežje 3: Natura 2000 v Sloveniji. URL: <http://www.natura2000.si/o-naturi-2000/natura-2000-v-sloveniji/> (3. 11. 2018).

THE MAGNITUDE OF CLIMATE CHANGE IN NATURA 2000 AREAS IN SLOVENIA

Summary

The consequences of human-induced climate change are becoming increasingly evident. Despite the fact that scientists have been constantly drawing attention to the changed patterns of climate properties for more than 20 years, some developed countries are still ignoring the seriousness of these global environmental problem. Since there is no or little time to prevent the consequences of climate change, recent environmental research focuses mainly on adaptation strategies to changed climate patterns or to specific mitigation measures at the local or regional level. Protected areas are practically an ideal research polygon for such studies, since human interference is limited there. However, these areas are equally exposed to recent climate change trends. Experts estimated that 63% of species of European concern will be endangered by climate change in Europe by the end of the century. The sub-Mediterranean and sub-Pannonia region in Slovenia could be potentially faced by intensively changed climate characteristics by the end of the century. Two global climate models (HadGEM2-ES and MPI-ESM-LR) predicted high intensity of change in bioclimatic conditions in these two regions. The direction of climate change could be more uniform according to all considered climate models (CCSM4, HadGEM2-ES and MPI-ESM-LR) and scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). It turned out that bioclimatic variables encoding humidity conditions will change significantly more than those encoding temperature conditions. However, it should be emphasized that the change direction variable should be taken relatively on those Natura 2000 zones with predicted low change intensity. Regardless of that, forecasts and predictions are very important components for spatial planning, so it is not surprising that the number of such studies is reasonably increasing.

