

DINAMIKA SPREMEMB RABE PROSTORA POD VPLIVOM RAZLIČNIH GOSPODARSKIH SISTEMOV: PRIMER UPORABE PODATKOV SATELITA LANDSAT

Daša Donša

Dipl. ekologinja naravovarstvenica (UN)
Oddelek za biologijo
Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija
e-mail: dasa.donsa1@um.si

Mitja Kaligarič

Dr., uni. dipl. biolog, red. prof.
Oddelek za biologijo
Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija
e-mail: mitja.kaligarič@um.si

Sonja Škornik

Dr., prof. biologije in kemije, izr. prof.
Oddelek za biologijo
Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija
e-mail: sonja.skornik@um.si

Nataša Pipenbaher

Dr., uni. dipl. ing. kmetijstva, doc.
Oddelek za biologijo
Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija
e-mail: natasa.pipenbaher@um.si

Veno Jaša Grujić

Mag. biologije in ekologije z naravovarstvom, ast.
Oddelek za razredni pouk in Oddelek za biologijo
Pedagoška fakulteta in Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor
e-mail: veno.grujic@um.si

Danijel Davidović

Mag. geografije in filozofije, ast.
Oddelek za geografijo
Filozofska fakulteta
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor
e-mail: danijel.davidovic@um.si

Igor Žiberna

Dr., prof. geografije in zgodovine, izr. prof.
Oddelek za geografijo
Filozofska fakulteta
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija
e-mail: igor.ziberna@um.si

Danijel Ivajnsič

Dr., prof. geografije in biologije, doc.
Oddelek za geografijo in Oddelek za biologijo
Filozofska fakulteta in Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija
e-mail: dani.ivajnsic@um.si

UDK: 711.14: 528.88

COBBIS: 1.01

Izvleček

Dinamika sprememb rabe prostora pod vplivom različnih gospodarskih sistemov: primer uporabe podatkov satelita LANDSAT

Zagotavljanje zadostne produktivnosti je gonilo gospodarskega razvoja. Le-ta pa v prostoru s časom pušča značilen odtis zaradi različnih gospodarskih sistemov, ki so posledica različnih političnih ideologij. Za oceno vpliva politično-gospodarskih sistemov na prostor potrebujemo njegovo »inicialno stanje«: homogeno kulturno krajino, ki si jo delijo države z različnimi politično-gospodarskimi sistemi. Trideželni park Goričko-Raab-Örség predstavlja idealen poligon za tovrstne primerjave. V prispevku tako na tem območju uporabljamo časovno vrsto več-spektralnih podob satelita LANDSAT, ki omogoča analizo jakosti in smeri prostorskih sprememb. Rezultati kažejo na značilne razlike v obeh kazalcih, tako med državami (oziroma politično-gospodarskimi sistemi), kot med časovnimi intervali (1984-1992, 1992-2007, 2007-2020) kljub dejstvu, da po končanem obdobju jugoslovanskega socialističnega sistema in realsocializma na Madžarskem na obravnavanem območju ni bilo korenitih sprememb v rabi ali lastništvu zemljišč. Posebna dodana vrednost raziskave je v prenosljivosti metodološkega pristopa, ki je uporaben praktično na vseh obmejnih območjih, ki si delijo poprej homogeno kulturno krajino.

Ključne besede

CVA, Goričko-Raab-Örség, LANDSAT, PCA, prostorske spremembe, spektralne lastnosti.

Abstract

Landscape dynamics triggered by different economic systems: an example of LANDSAT satellite data applicability

Ensuring sufficient productivity growth is central to economic development. However, these process leaves behind characteristic environmental footprints which differ between economic systems driven by different political ideologies. To assess such landscape-level political-economic impacts, a homogeneous cultural landscape, shared by countries with different land use management systems, must be studied. The Trilateral Park Goričko-Raab-Örség represents an ideal investigation polygon for such research questions. In this paper, the time-sequences of LANDSAT satellite multi-spectral imagery were applied to calculate landscape change dynamics represented with spectral change magnitude and direction variables. The results show significant differences in both indicators, between countries (or political-economic systems) and between studied time intervals (1984-1992, 1992-2007, 2007-2020), despite the fact that, after the collapse of socialism in Yugoslavia and real-socialism in Hungary, there were no radical changes in land use or parcel ownership. Our findings have an addition value, since such an objective methodological approach can be practically transferred to all politically marginal areas that share a homogeneous cultural landscape and leave behind different spatial footprints.

Keywords

CVA, Goričko-Raab-Örség, LANDSAT, PCA, landscape change, spectral change

Uredništvo je članek prejelo 25.10.2020

1. Uvod

Človekov prostorski odtis postaja vse očitnejši. Različni vzorci rabe prostora, ki so posledica danih okoljskih razmer in politično-ekonomskih sistemov v različnih gospodarstvih, so tako vse bolj zaznavni. Recentna podoba krajine je s tega zornega kota produkt številnih, kronološko si sledočih, naravnih in antropogenih procesov (Bürgi s sod. 2004), hkrati pa gre za interakcijo med globalnimi trendi in regionalnih značilnostmi. Med pomembnimi dejavniki, ki vplivajo na preoblikovanje evropske krajine so urbanizacija, intenzifikacija kmetijstva, opuščanje kmetijskih površin, širjenje gozda ter potrebe po novih kmetijskih površinah (Plieninger s sod. 2016). Krajinski vzorci so torej dinamična komponenta prostora in kazalec, s katerim lahko ocenimo jakost, smer in vpliv sprememb na človeka in naravo. Stroka na tem mestu izpostavlja tako imenovane »gonilne sile« (socio-ekonomske, politične, tehnološke, naravne in kulturne), ki v medsebojni interakciji na časovni skali spreminjajo podobo krajin (Bürgi s sod. 2004; Skokanová s sod. 2016).

Večji del evropskih krajin je že stoletja oziroma tisočletja pod vplivom kmetijske rabe, ki ji daje njen izgled in predpono »kulturna« (ali kmetijska) krajina. V kulturni krajini imajo človekove odločitve v prostoru daleč večji vpliv na njeno strukturo od naravnih ekoloških procesov. Vplivata tako intenzivna kot ekstenzivna raba, pomemben dejavnik pa so tudi območja z naravno ali polnaravno vegetacijo (Mander in Jongman 1998). Spremembe krajine odražajo človekov socio-ekonomski razvoj, trenutno kmetijsko politiko in okoljske spremembe (Bičik s sod. 2001). Zaradi spremenjenega načina kmetovanja in socio-ekonomskih sprememb v zadnjem obdobju, se je evropska krajina močno preoblikovala (Mander in Jongman 1998). Zaznavne so spremembe: habitatov, ekoloških procesov, bioloških interakcij in antropogenih motenj. Slednje močno vpliva na biodiverzitetu (Hansen s sod. 2004). Zaradi zmanjševanja vrstne pestrosti pa se soočamo s spremenjeno kakovostjo ekosistemskih storitev (npr. zmanjšano produkcijo biomase, manj uspešnim opravevanjem, itd.), ki negativno vplivajo na človekovo dobrobit (Newbold s sod. 2016).

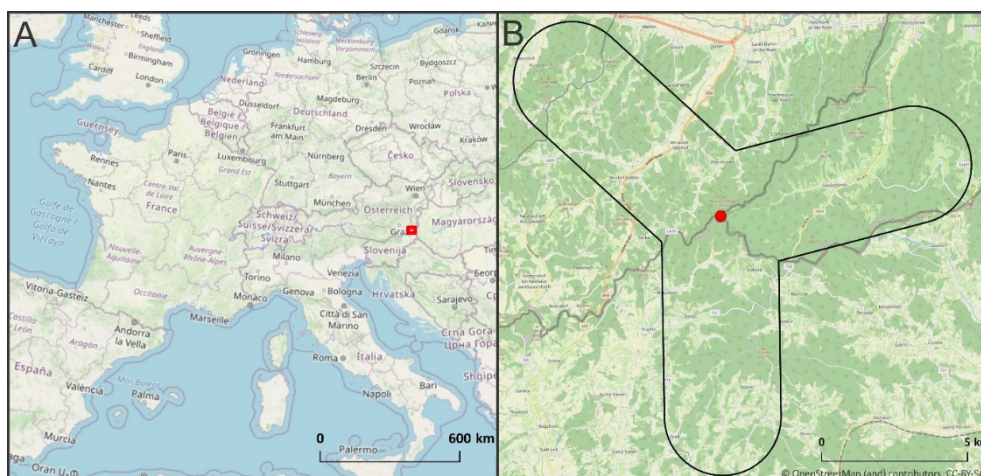
Na območju srednje in vzhodne Evrope je bil način kmetovanja oziroma širše, raba tal, pod močnim vplivom sprememb v političnih sistemih, do katerih je prišlo po drugi svetovni vojni. V obdobju realsocializma je potekala nacionalizacija in kolektivizacija kmetijstva, rezultat slednjega je bila proizvodnja hrane na manj številčnih, vendar večjih parcelah. Ob prehodu iz realsocialistične politike v srednji in vzhodni Evropi pa so zemljo znova privatizirali, kar je ponovno spremenilo izgled krajine (Cousins s sod. 2014; Primdahl in Swaffield 2010). Tržno usmerjeni kapitalistični sistem je v nadaljevanju povečal kontrast krajin predvsem s favoriziranjem intenzivne kmetijske rabe, ob dodatni podpori Skupne evropske kmetijske politike, ki si je do nedavnega prizadevala za večji hektarski donos na površino. Ekstenzivna in okolju bolj prijazna kmetijska raba je bila po večini bolj izjema kot pravilo. Po številnih študijah ki so se ukvarjale s pesticidi v degradirani evropski kulturni krajini (Herzog s sod. 2006; Peña s sod. 2007; Geiger s sod. 2010) in vplivu antropogeno pogojenih podnebnih sprememb (Theurillat in Guisan 2001; Seidl s sod. 2017), nova evropska kmetijska politika (finančno obdobje 2021-2027) svoje težišče bistveno bolj usmerja k ciljem trajnostnega razvoja (Medmrežje 1).

V prispevku tako iz tega vidika obravnavamo homogeno kulturno krajino trideželnega parka Raab (Avstrija), Goričko (Slovenija) in Örség (Madžarska). Naslanjamo se na metodološki pristop razvit v prispevku Cousins s sod. (2014), pri čemer spremembam

krajine, v luči posamezne države oziroma gospodarskih sistemov, sledimo z zornega kota časovne vrste spektralnih lastnosti zabeleženih v satelitskih podobah LANDSAT. Tako ugotavljamo: (1) ali je človekov prostorski odtis in njegova dinamika, pod vpliv različnega načina upravljanja znotraj posameznega politično-gospodarskega sistema (države), zaznaven tudi s tehnologijo daljinskega zaznavanja, (2) ali obstajajo značilne razlike v jakosti sprememb rabe prostora med državami po posameznih kronoloških sekvencah, kljub predpostavki, da po socialistični dobi ni bilo korenitih sprememb v rabi ali lastništvu zemljišč in (3) ali so na nivoju držav v obravnavni homogeni kulturni krajini zaznavne tudi razlike v smeri prostorskih sprememb?

2. Območje raziskave

Raziskovano območje se nahaja na tromeji med Avstrijo, Madžarsko in Slovenijo in zaobjema homogen gričevnati predel trideželnega parka, ki ga sestavljajo Krajinski park Goričko na Slovenski strani (ustanovljen leta 2003), Naravni park Raab v Avstriji (ustanovljen leta 1997) ter Narodni park Órség na Madžarskem (ustanovljen leta 2004) (Slika 1). Območje ima podobne abiotske razmere (topografija, tip tal, mikroklima, itd.) in vegetacijo, krajinske spremembe pa so po večini rezultat socio-ekonomskih gonilnih sil kot posledic različnih političnih sistemov.



Slika 1: Območje raziskave v evropskem merilu (A) in obravnavana tamponska cona (10x2 km) z izhodiščem v tromeji Slovenija-Avstrija-Madžarska.

V obdobju Avstro-Ogrske monarhije je v tem delu Evrope prevladovalo tradicionalno kmetijstvo z malimi kmetijami. Čeprav je po letu 1921 bilo to območje razdeljeno med tri države, je gospodarski sistem do leta 1945 ostal bolj ali manj enak (tržno usmerjeno tradicionalno kmetijstvo) (Cousins s sod. 2014). Po letu 1945 so razlike v rabi prostora, zaradi spremenjenih političnih sistemov med državami, postajale bolj zaznavne. V Avstriji so bila po večini zemljišča v zasebni lasti, pod vplivom zahodnoevropske politike prostega trga z intenzivno kmetijsko rabo in splošno tendenco po večanju kmetij in izkazovanju dobička. Po drugi strani je Slovenija (takrat še del Jugoslavije) postala izrazito socialistično tržno gospodarstvo z notranjim trgom. Za to obdobje je značilen proces kolektivizacije kmetijskih zemljišč z nekaj izjemami ob obmejnih marginalnih območjih, kjer se je ohranil tradicionalni vzorec razdrobljene kmetijske krajine iz preteklega obdobja. Še radikalneje je kolektivizacija kmetijskih

zemljišč in postopen prehod na tržno gospodarstvo preoblikovala obravnavano kmetijsko krajino na Madžarskem. Na ugodnih legah so nastale velike, intenzivno usmerjene državne kmetije, ki so zaposlovale bivše lastnike ozemlja, na manj ugodnih legah (ob meji) pa se je pričel proces opuščanja kmetijskih površin in postopno zaraščanje (depupulacija ozemlja ob železni zavesi). Od razpada Jugoslavije in vzhodnega bloka v devetdesetih letih sta Madžarska in Slovenija prešli na prosto tržno gospodarstvo in sta od leta 2004 del EU. Avstrija je postala država članica EU že leta 1995. Cousins s sod. (2014) izpostavlja, da se po socialistični dobi v proučevani regiji niso zgodile hitre, nenadne ali korenite spremembe v rabi ali lastništvu zemljišč. Kakorkoli, upravljanje s homogenim prostorom, deljenim med tri države, ostaja različno, posledično pa ostajajo odprta vprašanja predvsem glede značilnih razlik v jakosti in smeri prostorskih sprememb, kar je osrednja tema tega prispevka. Slednje ugotavljamo na enakem raziskovalnem območju kot Cousins s sod. (2014), z 10-km transekti z izhodiščno točko v tromeji Slovenija-Avstrija-Madžarska (Slika 1). Vse tri transekte smo obdali z 2 km tamponsko cono, v kateri spremljamo kronosekvence spektralnih lastnosti površja s pomočjo satelitskih podob LANDSAT.

3. Metode dela

3.1 Prostorske baze in predobdelava podatkov

S pomočjo spletne baze prostorskih podatkov EarthExplorer (Medmrežje 2), ki je v lasti Geološkega zavoda ZDA (ang. USGS), smo pridobili večspektralne satelitske podobe za časovne preseke 1984 (LANDSAT 4-5 TM C1 Level-1), 1992 (LANDSAT 4-5 TM C1 Level-1), 2007 (LANDSAT 4-5 TM C1 Level-1) in 2020 (LANDSAT 8 OLI/TIRS C1 Level-1). Da bi zagotovili primerljivost zaznanih spektralnih lastnosti po posameznih kronosekvencah, smo v vseh primerih uporabili podobe za mesec avgust. Vpliv atmosfere na kvaliteto satelitskih podob smo odpravili z atmosfersko korekcijo (Cos(t) algoritem) v programu TerrSet (Eastman 2020). Pred nadaljnjo analizo podatkov smo obravnavano časovno vrsto večspektralnih podob prilagodili prostorski razsežnosti našega raziskovalnega območja (Slika 1). Za boljšo vizualizacijo rezultatov smo iz spletne podatkovne baze »eurostat« (Medmrežje 3) pridobili vektor državnih meja. Za potrebe lažje primerjave in analize smeri spektralnih sprememb smo uporabili še vektorske podatke o rabi tal iz baze CORINE (Medmrežje 4).

3.2 Analiza glavnih komponent (PCA)

Za potrebe nadaljnje analize podatkov smo vse vidne (modri, rdeči in zeleni) in bližnje-infrardeči kanal satelitskih podob transformirali z analizo glavnih komponent (ang. Principal Component Analysis (PCA)). S tem smo zmanjšali število spremenljivk, ohranili informativno moč vseh spektralnih kanalov in pridobili ne-korelirani produkt. Kumulativno, prva in druga glavna komponenta, pri vseh časovnih intervalih, v povprečju pojasnujeta 98 % variabilnosti spektralnih lastnosti (Preglednica 1). Posledično smo v naslednjem koraku analize lahko uporabili prvi dve komponenti z izgubo le 2 % informacij.

3.3 Vektorska analiza sprememb (CVA)

Da bi dobili odgovore na zadana raziskovalna vprašanja smo izvedli vektorsko analizo sprememb (ang. Change Vector Analysis (CVA)) v orodju TerrSet (Eastman 2020). Produkt le-te sta rastrski podobi raziskovanega območja z informacijami o jakosti (ang. change magnitude) in smeri sprememb (ang. change direction) vhodnih podatkov (spektralnih lastnosti podob združenih v prvi in drugi PCA komponenti). Primerjali smo pare časovnih intervalov (kronosekvenc) 1984-1992, 1992-2007, 2007-2020 ter 1984-2020, ki hkrati predstavljajo mejnike v gospodarskem razvoju in

sistemu obravnavanih držav (osamosvojitve Slovenije 1991, vstop Slovenije in Madžarske v EU 2004 in recentno stanje).

3.4 Primerljiva analiza jakosti in smeri sprememb spektralnih lastnosti

V zaključni fazi analize smo primerjali vrednosti obeh izračunanih spremenljivk (jakost in smer sprememb) po posameznih kronosekvencah in državah (gospodarskih sistemih). Zaradi neizpolnjevanja pogojev normalne porazdelitve obeh spremenljivk, smo uporabili ne-parametrične statistične preizkuse Kruskal-Wallis (paket Rcmdr (Fox, Bouchet-Valat 2020)), Dunn (paketa dunn.test (Dinno 2017), FSA (Ogle 2020)) in χ^2 (paket Rcmdr (Fox, Bouchet-Valat 2020)) v programskem okolju R (R Core Team 2020), pri čemer smo vektor jakost sprememb, za potrebe primerjave med državami, normalizirali in transformirali z uporabo funkcije kvadratnega korena. Pri Dunn-ovem preizkusu primerjave parov smo uporabili še Bonferronijevo metodo prilagoditve p-vrednosti. Za lažjo interpretacijo izračunane smeri spektralnih sprememb smo uporabili vektorske podatke o rabi tal iz baze CORINE (Medmrežje 4), pri čemer smo njihovo tematsko ločljivost (za časovne intervale 1990 (za časovno okno 1984-1992), 2006 (za časovno okno 1992-2007) in 2018 (za časovno okno 2007-2020)) poenostavili na nivo odprta-agrarna in zaprta-gozdna krajina. Spremenljivko smer sprememb smo tako kategorizirali (0-90°, 90-180°, 180-270° in 270-360°) in primerjali po obravnavanih državah. Za grafični prikaz bodisi značilnih ali neznačilnih razlik smeri spektralnih sprememb površja med državami, po krosekvencah, smo uporabili paket vcd (Meyer s sod. 2020) ter algoritma assoc ter mosaic v programskem okolju R (R Core Team 2020).

4. Rezultati in diskusija

4.1 Spektralne lastnosti raziskovanega območja

Spektralne lastnosti, zapisane v kanalih satelitskih podob so običajno korelirane. V izogib podvajanju prostorskih informacij smo oblikovali glavne komponente in na ta način, ob uporabi prvih dveh, na raziskovanem območju ohranili skoraj vso informativno moč vidnih in bližnje-infrardečih kanalov v posameznih časovnih intervalih (Preglednica 1). Večino lastnosti vidnih kanalov nosi prva glavna komponenta, medtem ko druga glavna komponenta zaobjema preostanek lastnosti v bližnje-infrardečem kanalu (Preglednica 2). Zmanjšanje števila kanalov ter njihova neodvisnost je omogočila izračun jakosti ter smeri spektralnih sprememb površja po obravnavanih časovnih intervalih oziroma mejnikih.

Preglednica 1: Deleži pojasnjenih varianc prve in druge glavne komponente analize PCA.

Časovno okno	Pojasnjena varianca prve glavne komponente (%)	Pojasnjena varianca druge glavne komponente (%)	Kumulativna pojasnjena varianca (%)
1984	88.57	8.87	97.44
1992	92.40	5.65	98.05
2007	87.50	9.63	97.13
2020	88.56	10.70	99.27

Preglednica 2: Uteži glavnih komponent za primer satelitske podobe LANDSAT 2020.

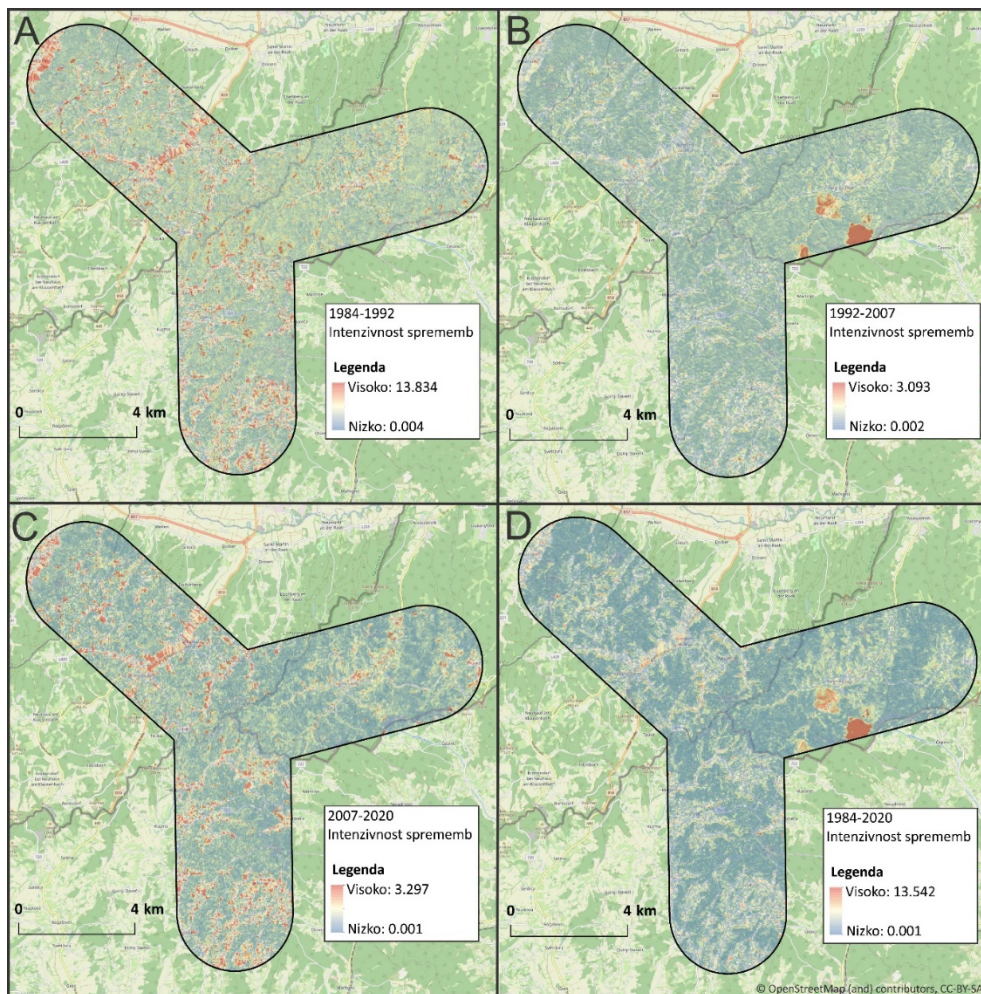
Spektralni kanali	Valovna dolžina (mikrometer)	PCA komponenta 1	PCA komponenta 2
Modri	0.45-0.51	0.99	-0.10
Rdeči	0.53-0.59	0.98	-0.19
Zeleni	0.64-0.67	0.98	-0.20
Bližnje-infrardeči	0.85-0.88	0.81	0.59

4.2 Jakost sprememb

Prvi rezultat analize CVA prikazuje dolžino vektorja med dvema časovnima presekom za vsako slikovno enoto v prostoru prve in druge PCA komponente. Tako lahko iz Slike 2 (A, B, C in D) v absolutni skali razberemo, kje in kdaj je v obravnavanem prostoru prišlo do večjih ali manjših sprememb v rabi tal na podlagi spremenjenih spektralnih lastnosti površja. Med letoma 1984 in 1992 so po jakosti tako največje spremembe zaznavne na območju Madžarske. Po eni strani gre za proces zaraščanja opuščanih kmetijskih površin (ekstenzifikacija), ki se je na tem območju pričel že pred stotimi leti (Donald s sod. 2006; Navarro in Pireira 2012; Cousins s sod. 2014), po drugi pa za prehod v zrelo fazo gozdnega sestoja na, v letu 1984, že zaraščajočih se površinah. Sicer je po jakosti manjših sprememb spektralnih lastnosti površja, ki so zaznavne le po odprti kmetijski krajini, bilo bistveno več na območju Goriškega in Raaba (Slika 2A, Slika 3). Posledično so med letoma 1984 in 1992 na obravnavanem območju med državami (Jugoslavija-Avstrija-Madžarska) zaznavne značilne razlike v jakosti sprememb rabe prostora ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$). Med letoma 1992 in 2007 so bile te razlike manjše, a kljub temu značilno različne (Slika 2B, Slika 3). Največje vrednosti vektorja sprememb dosegajo nižji predeli gričevja v Avstriji, medtem ko so bili preostali (reliefno bolj razgibani) deli bolj »stabilni«. Rezultati kažejo na proces intenzifikacije kmetijstva, ki se je pod okriljem tovrstne strategije v tem obdobju vzpostavljene Skupne kmetijske politike (SKP), usmerjene v povišanje hektarskega donosa na ugodnejših legah, na obočju EU že udejanjala (Stoate s sod. 2009). Na Goriškem je v tem obdobju prostorski vzorec jakosti sprememb drugačen. Ekstenzivna kmetijska raba, ki se je tukaj izjemoma ohranila po spremembah lastniške strukture po letu 1945 (Cousins s sod. 2014), še v časovnem oknu 1992-2007 ni toliko podvržena procesu intenzifikacije kmetijskih površin. Kakorkoli, če obravnavamo posamezno tamponsko cono kot celoto, je največ sprememb krajine v tem obdobju še vedno na območju Örséga (Slika 2).

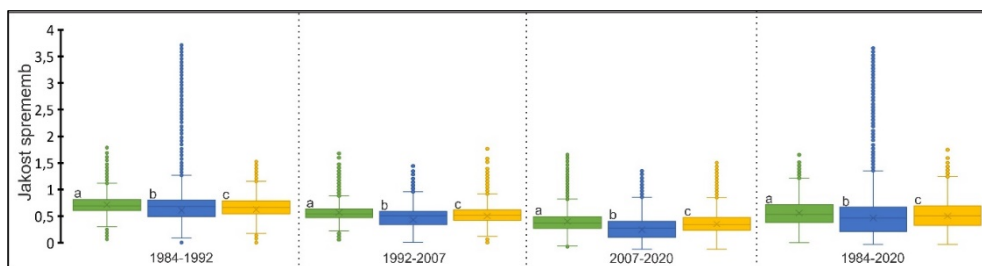
Razlike v jakosti prostorskih sprememb na podlagi spektralnih lastnosti površja med obravnavanimi državami se v zadnjem časovnem intervalu precej zmanjšajo, a so še vedno statistično značilne (Slika 2D, Slika 3). Pravzaprav se kažejo kmetijski trendi, ki so Avstrijo doleteli že v prejšnjem časovnem intervalu (intenzifikacija ekstenzivnih kmetijskih površin prodira tudi na manj ugodne lege), hkrati pa ponekod beležimo tudi ponovno zmanjšanje intenzivne kmetijske rabe. Cousins s sod. (2014) ugotavljajo, da so krajinske spremembe zaznavne tudi v kazalcih vrstne pestrosti bodisi na nivoju flore ali favne. Izpostavljajo, da ima že dlje časa tržno usmerjeno kmetijstvo na obočju krajine Raab v Avstriji tako danes posledično manj rastlinskih in živalskih vrst v primerjavi z Goriškim v Sloveniji ali Örségom na Madžarskem, kjer so skupni evropski strateški cilji v kmetijstvu prišli do veljave nekoliko kasneje. Če izračunamo vektor sprememb spektralnih lastnosti površja med letoma 1984 in 2020 (Slika 2D), lahko opazimo, da je obravnavana homogena krajina pod vplivom različne

strategije upravljanja v posameznih državah (gospodarskih sistemih) doživela največ sprememb na območju Őrséga na Madžarskem (Slika 2D, Slika 3).



Slika 2: Jakost prostorskih sprememb po posameznih časovnih mejnikih.

V prvih časovnih intervalih je še zaznaven proces ekstenzifikacije, kot zapuščina depopulacijskih trendov v preteklem obdobju, v drugem obdobju so ugodne kmetijske lege podvržene intenzifikaciji rabe prostora, v recentnem EU obdobju, pa že zaznavamo ponovno ekstenzifikacijo nekaterih kmetijskih površin v korist zviševanja biodiverzite in ekosistemskih storitev v smeri strateškega udejanjana trajnostnega razvoja. Podobne prostorske procese z različno strukturo sicer (geološko, geomorfološko, podnebno in vegetacijsko) homogene krajine lahko opazujemo tudi v državah, ki so nekoč pripadale vzhodnemu bloku. Po razpadu Sovjetske zveze so se v takih obmejnih marginalnih območjih vzpostavili različni politično-gospodarski sistemi (npr. Poljska, Rusija in Belorusija) z drugačnimi strategijami rabe prostora (Gobster s sod. 2007).

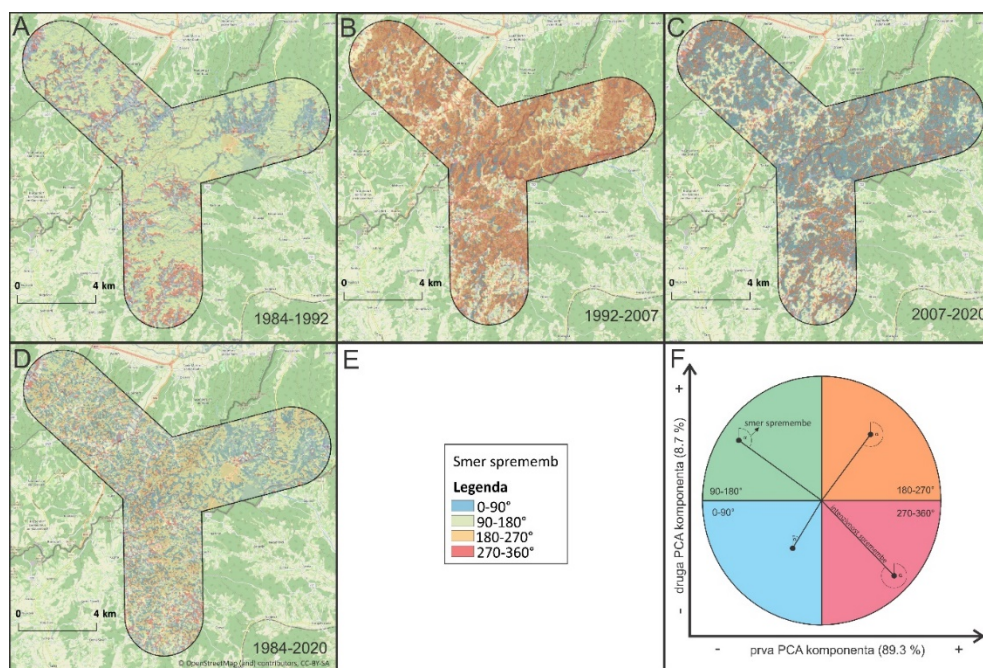


Slika 3: Frekvenčna porazdelitev jakosti prostorskih sprememb v posameznih časovnih mejnikih (zelena=Avstrija, modra=Madžarska, rumena=Slovenija). Male črke (a, b in c) nakazujejo značilne razlike ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$) po Dunn-ov testu primerjave parov v sklopu Kruskal-Wallis preizkusa. Odvisna spremenljivka (jakost sprememb) je transformirana z uporabo funkcije kvadratnega korena.

4.3 Smer sprememb

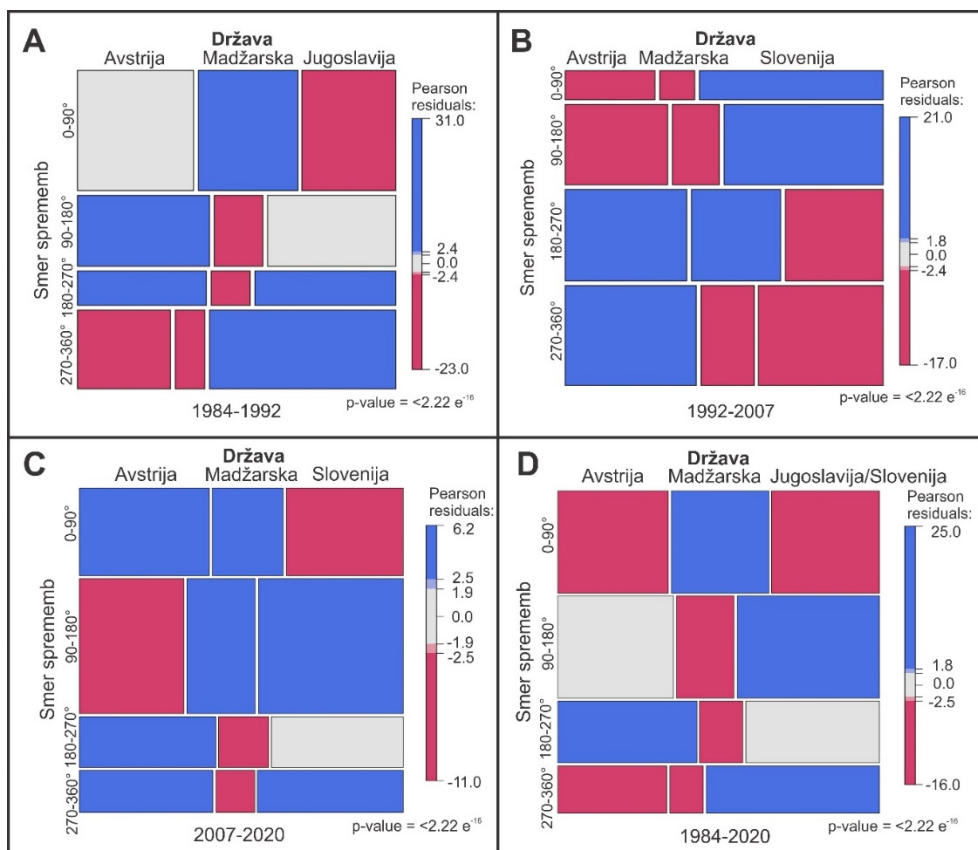
Drugi produkt analize CVA je kot (v°) za vsako slikovno enoto, ki kaže, v katero smer je obrnjen vektor jakosti sprememb spektralnih lastnosti površja med dvema časovnim intervaloma, v našem primeru, v prostoru 1. in 2. PCA komponente (Slika 4F). Iz Slike 4 lahko razberemo, da je na celotnem območju raziskave dominantna smer sprememb v posameznih kronosekvencah različna. Tovrsten rezultat sovпада z različnimi fazami strategij upravljanja obravnavanega prostora glede na gospodarski sistem v danem obdobju. Kakorkoli, poudariti velja, da je interpretacija smeri sprememb spektralnih lastnosti površja smiselna le na predelih raziskovanega območja, kjer je izračunana jakost sprememb večja (tople barve na Sliki 2). Po večini gre v vseh treh državah za predele odprte kulturne krajine.

Tako na tem mestu, med letoma 1984 in 1992, sicer beležimo največji delež sprememb spektralnih lastnosti površja v smeri zmanjšanja vrednosti tako 1. kot 2. PCA glavne komponente ($0-90^\circ$) z značilnimi razlikami med državami (gospodarskimi sistemi) ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$). Ker 1. PCA komponenta kodira večino lastnosti vidnega spektra, druga pa bližnje-infrardečega (Preglednica 2), tak rezultat kaže na zmanjšanje odbojnosti površja v obravnavanem spektru, posredno pa na zmanjšanje nadzemne biomase ali gostote vegetacije (= ekstenzifikacija kmetijske krajine). Pearsonovi ostanki χ^2 preizkusa nakazujejo, da je med letoma 1984 in 1992 na Madžarskem številčnost (frekvenca) takih površin znatno večja, v Sloveniji manjša, v Avstriji pa enaka pričakovanim. Povedano drugače, za Avstrijo ne moremo trditi, da je zveza med smerjo sprememb $0-90^\circ$ (= ekstenzifikacija kmetijske krajine) značilna, med tem, ko velja obratno tako za Madžarsko kot Slovenijo. Podobnosti med državami najdemo v drugih dveh kategorijah smeri sprememb ($180-270^\circ$ (povečanje vrednosti tako 1. kot 2. PCA komponente) in $270-360^\circ$ (povečanje vrednosti 1. in zmanjšanje vrednosti 2. PCA komponente)), pri čemer se v prvem primeru loči Örség od Goriškega in Raab-a, v drugem pa sta si bolj podobni območja v Avstriji in na Madžarskem v primerjavi z Slovenijo. Tudi v naslednjem časovnem intervalu (1992-2007) so med državami značilne razlike v smeri spektralnih lastnosti površja odprte kulturne krajine med državami značilne ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$). Glede na delež beležimo povsod največ sprememb v smeri povečanja vrednosti 1. in zmanjšanje vrednosti 2. PCA komponente ($270-360^\circ$) (Slika 4, Slika 5B).



Slika 4: Smer prostorskih sprememb po posameznih časovnih mejnikih in shematski prikaz interpretacije rezultatov smeri sprememb spektralnih lastnosti površja kot produkta analize CVA.

Praktično gre za povečanje odbojnosti v vseh štirih spektralnih kanalih, kar je posredni indikator večje gostote (biomase) vegetacijskega pokrova (= intenzifikacija kmetijske krajine). Rezultati potrjujejo že prej izpostavljeno dejstvo (Slika 5B), da se je v Avstriji proces intenzifikacije kmetijske rabe pojavil bistveno prej v primerjavi z Slovenijo ali Madžarsko zaradi prej uveljavljenega tržno usmerjenega gospodarskega sistema in strategije evropske SKP (Cousins s sod. 2014). Pearsonovi ostanki dokazujejo razlike med Avstrijo, ki beleži večjo frekvenco površin v smeri 270-360° (= intenzifikacija kmetijske krajine), v primerjavi z Madžarsko in Slovenjo, ki imata obe manjšo frekvenco in delež tovrstnih površin od pričakovanih. V zadnjem časovnem intervalu (2007-2020) po deležu prevladujejo spektralne spremembe kulturne krajine v smereh 90-180° (zmanjšanje vrednosti 1. in povečanje vrednosti 2. PCA komponente) in 0-90° (zmanjšanje vrednosti tako 1. kot 2. PCA komponente), hkrati pa so razlike med državami bistveno manjše (manjši je tudi variacijski razmik Pearsonovih ostankov (VR=17)). Po eni strani takšen rezultat lahko nakazuje spremembe v uporabi kulturnih rastlin (tudi prilagajanje na podnebne spremembe), ki imajo tudi nekoliko drugačen spektralni podpis, po drugi pa na boljše uveljavljanje naravovarstvenih ukrepov nove evropske SKP, ki v zadnjem obdobju daje večji poudarek tradicionalni ekstenzivni in okolju bolj prijazni kmetijski rabi v skladu z smernicami trajnostnega razvoja podeželja. Slednje je bolj zaznavno na območjih Raab in Örség (pozitivni Pearsonovi ostanki), ki se razlikujeta od Goričkega (negativni Pearsonovi ostanki) (Slika 5C).



Slika 5: Delež kategorij smeri prostorskih sprememb po posameznih časovnih mejnikih in pripadajoče vrednosti Pearsonovih ostankov χ^2 preizkusa.

Če analiziramo celoten časovni presek (1984-2020), so razlike med državami značilne tako v jakosti kot v smeri sprememb spektralnih lastnosti površja (Slika 3, Slika 5D). Seveda so v tem primeru zabrisane posamezne faze smeri sprememb med obravnavanimi časovnimi mejniki, dokazujejo pa različno dinamiko sprememb homogenega prostora pod vplivom različnih strategij upravljanja spreminjajočih se gospodarskih sistemov v zadnjih 36 letih.

5. Zaključek

V študiji izpostavljamo vpliv človeka na jakost in smer sprememb na geološko, geomorfološko, podnebno in vegetacijsko homogenem območju. V kulturni krajini trideželnega parka Goričko-Raab-Örség lahko zaradi preteklih načinov upravljanja oziroma politično-gospodarskih sistemov prepoznamo kronološko različni prostorski odtis. Gre za vzorec, ki je zaznaven povsod, kjer so se spreminjale politične meje v značilnih geografskih regijah in si na ta način različne države delijo enotno kulturno krajino. Na tovrstnih območjih je antropogena dejavnost v sodelovanju s političnimi odločitvami o urejanju prostora in z globalnimi socio-ekonomskimi trendi, ključni preoblikovalec prostora, naravni procesi pa so potisnjeni v ozadje. Dokazali smo, da lahko s pomočjo tehnologije daljinskega zaznavanja oziroma časovno vrsto več-

spektralnih podob satelita LANDSAT prepoznamo različno dinamiko prostorskih sprememb, ki so posledica človekovega delovanja pod vplivom različnih gospodarskih sistemov in socio-ekonomskih trendov. Jakost in smer prostorskih sprememb spektralnih lastnosti površja sta lahko posredna indikatorja bodisi ekstenzifikacije ali intenzifikacije kulturne krajine. Služita lahko tudi za prepoznavanje sprememb v strukturi kulturnih rastlin in za ugotavljanje razvitosti gozdnega sestoja. Na obravnavanem območju se pri obeh produktih vektorske analize sprememb (ang. CVA) pojavljajo značilne razlike med državami v vsakem časovnem intervalu in predvsem v odprti kulturni krajini, kljub predpostavki, da po socialistični dobi ni bilo korenitih sprememb v rabi ali lastništvu zemljišč, kar še dodatno osmisli tovrsten metodološki pristop. Dodatna prednost predstavljene metodologije pa je v njeni splošni uporabnosti na praktično vseh obmejnih območjih, ki si delijo homogeno kulturno krajino in v kateri pričakujemo različne, z družbenimi vzroki pogojevane, gonilne sile.

Rezultati dokazujejo, da je bila smer razvoja negozdnih površin (gozd ostaja po večini stabilen) v vseh treh državah povsem različna. V Avstriji smo zaznali manjšo dinamiko sprememb prostora, kar si lahko razlagamo s kontinuiteto rabe tal skozi celotno obdobje po drugi, morda celo po prvi svetovni vojni, kjer je bila gonilna sila sprememb prostora le konsolidiranje kmetij in prosti trg. Območje Madžarske in Slovenije (Jugoslavije) je bilo bolj dinamično, a, tako po jakosti kot smeri sprememb, različno. Na Madžarskem sprva beležimo opuščanje in zaraščanja kmetijskih površin, nato intenzifikacijo kulturne krajine na ugodnih kmetijskih legah ter ponovno ekstenzifikacijo kmetijskih površin v recentnem EU obdobju. V Sloveniji se do leta 1992 trendi opuščanja kmetijskih zemljišč v najbolj marginalnih predelih še ne kažejo, predvsem zaradi male parcelacije in diverzifikacije kultur. Temu je sledilo obdobje intenzifikacije kulturne krajine (tudi na manj ugodnih legah), ki v Sloveniji traja še danes, hkrati pa so ponekod v zadnjem obdobju, a v manjši meri kot na območju Raaba in Örséga, zaznavne sprememb v smeri ponovne ekstenzifikacije.

Zahvala

Študijo je podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije in Raziskovalni programi Slovenska identiteta in kulturna zavest v jezikovno in etnično stičnih prostorih v preteklosti in sedanjosti (P6-0372), Računalniško intenzivni kompleksni sistemi (P1-0403) in Raziskave za zagotavljanje varne hrane in zdravja (P1-0164(C)).

Literatura

- Bičík, I., Jeleček, L. in Štěpánek, V., 2001: Land-use changes and their social driving forces in Czechia in the 19th and 20th centuries. *Land Use Policy*, 65-73.
- Bürgi, M., Hersperger, A. M. in Schneeberger, N., 2004: Driving forces of landscape change current and new directions. *Landscape Ecology*, 857-868.
- Cousins, S. A., Kaligarič, M., Bakan, B. in Regina, L., 2014: Political Systems Affect Mobile and Sessile Species Diversity—A Legacy from the Post-WWII Period. *PLoS ONE*, 1-7.
- Dinno A., 2017: Dun.test: dunn's test of multiple comparisons using rank sums. R package version 1.3.5.
- Donald, P. F., Sanderson, F. J., Burfield, I. J. in Van Bommel, F. P., 2006: Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European

- farmland birds, 1990-2000. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116(3-4), 189-196.
- Eastman, J., 2020: TerrSet. Clark Labs-Clark University.
- Fox J. in Bouchet-Valat M., 2020: Rcmdr: R Commander. R package version 2.7-1.
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B. s sod., 2010: Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97-105.
- Gobster, P. H., Nassauer, J. I., Daniel, T. C. in Fry, G., 2007: The shared landscape: what does aesthetics have to do with ecology?. *Landscape ecology*, 22(7), 959-972.
- Hansen, A. J., Defries, R. in Turner, W., 2004: Land Use Change and Biodiversity: A Synthesis of Rates and Consequences during the Period of Satellite Imagery. *Land Change Science: Observing, Monitoring, and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface*, 277-299.
- Herzog, F., Steiner, B., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bukáček, R. s sod., 2006: Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale. *European Journal of Agronomy*, 24(2), 165-181.
- Mander, Ü. in Jongman, R. H., 1998: Human impact on rural landscapes in central and northern Europe. *Landscape and Urban Planning*, 149-153.
- Meyer, D., Zeileis, A. in Hornik, K., 2020: VCD: Visualizing Categorical Data. R package version 1.4-8.
- Navarro, L. M. in Pereira, H. M., 2012: Rewilding Abandoned Landscapes in Europe. *Ecosystems* 15, 900-912.
- Newbold, T., Hudson, L. N., Arnell, A. P., Contu, S., De Palma, A., Ferrier, S. s sod., 2016: Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 288-291.
- Ogle DH., Wheeler P, Dinno A., 2020: FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.30.
- Peña, J., Bonet, A., Bellot, J., Sánchez, J. R., Eisenhuth, D., Hallett, S. in Aledo, A., 2007: Driving forces of land-use change in a cultural landscape of Spain. In *Modelling land-use change*, 97-116.
- Plieninger, T., Draux, H., Fagerholm, N., Bieling, C., Bürgi, M., Kizos, T. s sod., 2016: The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence. *Land Use Policy*, 204-214.
- Primdahl, J. in Swaffield, S. 2010. *Globalisation and Agricultural Landscapes: Change Patterns and Policy Trends in Developed Countries*. Cambridge: Cambridge University Press.
- R Core Team, 2018: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G. s sod., 2017: Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 7(6), 395-402.
- Skokanová, H., Falfán, V. in Havlíček, M., 2016: Driving forces of main landscape change processes from past 200 years in Central Europe - differences between old democratic and post-socialist countries. *Ekológia (Bratislava)*, 50-56.
- Stoate, C., Baldi, A., Beja, P., Boatman, N. D., Herzog, I., Van Doorn A. in Ramwell, C., 2009: Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe—a review. *Journal of environmental management*, 91(1), 22-46.
- Theurillat, J. P., in Guisan, A., 2001: Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic change*, 50(1-2), 77-109.

Medmrežje 1: https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/future-cap/key-policy-objectives-future-cap_en#nineobjectives (10.10.2020).

Medmrežje 2: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (20.8.2020).

Medmrežje 3: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (18.8.2020).

Medmrežje 4: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (14.8.2020).

LANDSCAPE DYNAMICS TRIGGERED BY DIFFERENT ECONOMIC SYSTEMS: AN EXAMPLE OF LANDSAT SATELLITE DATA APPLICABILITY

Summary

The study investigates the human-driven landscape change process in an abiotically homogeneous area. In the cultural landscape of Goričko-Raab-Örség, we can recognize chronologically different spatial footprints owing to past management practices implemented through different political and economic systems. It is a pattern that is perceptible wherever political boundaries have changed in typical geographical regions, and in this way different countries share recently a homogeneous cultural landscape. In such areas, anthropogenic activity, governed by political decisions, spatial planning and global socio-economic trends, is a key determinant of landscape change thus outperforming natural processes which are pushed into the background. We proved that remotely sensed multi-temporal and -spectral LANDSAT imagery can be used to identify different landscape change processes. The latter are the result of human activity under the influence of different economic systems and socio-economic trends. The magnitude and direction of landscape change, based on spectral properties of the surface, can represent indirect indicators of either extensification or intensification of the cultural landscape. They can also be used to identify changes in the structure of cultivated plants and forests. In the area under consideration, both products of the Change Vector Analysis (CVA) show significant differences between countries in each time interval, especially in the open cultural landscape, despite the assumption that there were no radical changes in land use or ownership after the socialism period. This makes this methodological approach even more applicable. An additional advantage of the presented methodology is its transferability to all similar politically marginal areas that share a homogeneous cultural landscape and in which different driving forces conditioned by social causes are expected.

The results proved that the magnitude and direction of landscape change in non-forest areas (forests remained mostly stable) were completely different in all three countries. In Austria, we noticed less landscape change dynamics, which can be explained by the continuity of land use throughout the period after the Second, perhaps even after the First World War, where the driving force of spatial change was only the consolidation of farms and the free market economy. The study area in Hungary and Slovenia (Yugoslavia) was more dynamic, but different in terms of both change intensity and direction. In Hungary, we first recorded spectral change which indicated agricultural land abandonment and overgrowing. In the next time period the spectral change direction variable was orientated towards intensification of the cultural landscape, mostly in areas favorable for agriculture whereas, in the recent EU period, re-extensification of agricultural land, perhaps as a consequence of implanted CAP measures, is evident. In Slovenia, trends in the abandonment of agricultural land in the most marginal areas were not yet evident until 1992, mainly due to small parcel structure and diversification of cultures. In the next studied period spectral change indicated cultural landscape intensification in Goričko, even in less favorable locations, and this process is still ongoing in other agricultural areas in Slovenia. However, in the recent period, like in Raab and Örség, some re-extensification areas have been detected in Goričko, but to a lesser extent.

