

Oznaka poročila: ARRS-CRP-ZP-2021/22



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH CILJNEGA RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra	V4-1811
Naslov	Uporaba podatkov satelitskega sistema Sentinel ter nekaterih ostalih podatkov daljinskega zaznavanja za kontrolo neposrednih plačil v kmetijstvu
Vodja	30639 Uroš Žibrat
Naziv težišča v okviru CRP	2.1.3. Razvoj metodologije za uporabo različnih podatkov daljinskega zaznavanja za preverjanje (monitoring) ukrepov kmetijske politike na površino v Sloveniji
Obseg učinkovitih ur raziskovalnega dela	945
Cenovna kategorija	C
Obdobje trajanja	11.2018 - 04.2020
Nosilna raziskovalna organizacija	401 Kmetijski inštitut Slovenije
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	2936 SINERGISE, laboratorij za geografske informacijske sisteme d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	4 BIOTEHNIKA 4.03 Rastlinska produkcija in predelava 4.03.06 Kmetijska tehnika
Družbeno-ekonomski cilj	08. Kmetijstvo
Raziskovalno področje po šifrantu FORD	4 Kmetijske vede in veterina 4.01 Kmetijstvo, gozdarstvo in ribištvo

2. Sofinancerji

	Sofinancerji		
1.	Naziv	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano	
	Naslov	Dunajska cesta 22, 1000 Ljubljana	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Več metod daljinskega zaznavanja omogoča določanje sprememb v kmetijski rabi površin. Zaradi specifičnosti slovenskega kmetijstva (na primer visoka prostorska razdrobljenost) je potrebno vzpostaviti ustrezen sistem monitoringa upravičenosti ukrepov skupne kmetijske politike. Satelitsko daljinsko zaznavanje je primerna metoda za tovrstni namen, saj lahko zajame večje površine, tudi na težje dostopnih predelih. Glavni vir satelitskih podatkov je bila konstelacija Sentinel-2, testirali pa smo tudi druge, komercialne, vire optičnih satelitskih podatkov, z boljšo prostorsko ločljivostjo (WorldView-3, Geoeye-1 in PlanetScope).

Glavna cilja projekta sta bila analiza uporabe različnih podatkov in metodologij za potrebe monitoringa izvajanja ukrepov skupne kmetijske politike, ki temeljijo na analizi podatkov daljinskega zaznavanja, ter uvedba sistema za samodejno zaznavanje sprememb na kmetijskih površinah z uporabo podatkov daljinskega zaznavanja iz različnih virov.

Za testiranje algoritmov za spremljanje ukrepov SKP smo skupaj s predstavniki ARSKTRP in MKGP izbrali šest območij (poimenovana Goričko, Lenart, Brežice, Barje, Bohinj, Kras), ki odražajo pestrost pridelave in ukrepov SKP, ter posestno strukturo v Republiki Sloveniji. Vseh šest območij je kvadratne oblike s površino 100 km² (10x10 km). Izbrali smo enajst spektralnih indeksov, ki so vezani na oziroma uporabljajo: (1) razvoj rastlin, (2) razvoj rastlin in so prilagojeni za odboj tal, (3) robni rdeči pas, in (4) vsebnost klorofila. Z analizo časovne vrste vrednosti indeksov na vseh poljinah smo za določanje sprememb na poljinah izbrali indeksa MCARI in NDVI. Za določanje vrste posevka smo združili izbrane indekse z analizo glavnih komponent v časovni vrsti. Klasične multivariantne statistične metode klasifikacij posnetkov obravnavajo posamezne korake ločeno, torej zanemarijo časovno komponento. Za določanje vrste posevkov smo zato testirali več algoritmov strojnega učenja (na primer odločitvena drevesa in nevronske mreže), na podatkih ločenih po posameznih indeksih ter združenih podatkih izbranih indeksov. Najboljše rezultate določanje vrste posevka smo dosegli z usmerjenimi umetnimi nevronskimi mrežami, imenovanimi večplastni perceptron (angl. multilayer perceptron). Skupaj z upoštevanjem fenološkega razvoja rastlin smo dosegli 94,29% zanesljivost klasifikacij. Za določanje sprememb na zemljiščih (košnja in oranje) smo uporabili indeksa MCARI in NDVI. V letih 2017 in 2018 je bila približno polovica poljin košena 3-krat, večina (t.j. več kot 90%) poljin je bilo košenih dva do štirikrat. V porazdelitvi števila košenj med letoma nismo našli statistično značilnih razlik ($\chi^2 = 1941,2$; $p > 0.05$, $df = 4$). V obeh letih smo zaznali oranje na približno 2,5 odstotkih travnatih poljin. Razvite metode smo nato validirali na podatkih za celotno državo leta 2019.

ANG

Several methods of remote sensing enable the determination of changes in agricultural land use. Due to the specifics of Slovenian agriculture (for example, high spatial fragmentation), it is necessary to establish an appropriate system for monitoring the eligibility of measures of the common agricultural policy (CAP). Satellite remote sensing is a suitable method for this purpose, as it can capture larger areas, even in hard-to-reach areas. The main source of satellite data was the Sentinel-2 constellation, and we also tested other, commercial, sources of optical satellite data, with better spatial resolution (WorldView-3, Geoeye-1, and PlanetScope).

The main objectives of the project were to analyse the use of various data and methodologies for monitoring the implementation of CAP measures based on the analysis of remote sensing data and to introduce a system for automatic detection of changes in agricultural land using remote sensing data from various sources. Together with representatives of the Paying agency and Ministry of agriculture, forestry and food, we selected six areas (named Goričko, Lenart, Brežice, Barje, Bohinj, Karst) to test the algorithms for monitoring CAP measures, which reflect the diversity of production, and the ownership structure of agricultural parcels in Slovenia. All six areas are square in shape with an area of 100 km² (10x10 km). Eleven spectral indices were selected that are related to or use of: (1) plant development, (2) plant development and adapted for soil reflection, (3) marginal red band, and (4) chlorophyll content. By analysing the time series of index values on all fields, we selected the MCARI and NDVI indices to determine changes in the fields. To determine crop type, we combined selected indices by principal component analysis in a time series. Classical multivariate statistical methods of image classifications treat individual steps separately, thus neglecting the time component. To determine the type of crops, we therefore tested several machine learning algorithms (for example, decision trees and neural networks), on data separated by individual indices and pooled data of selected indices. The best results in determining

crop type were achieved with multilayer perceptrons. Together with phenological data we achieved a 94.29% success rate. MCARI and NDVI indices were used to determine changes in land (mowing and plowing). In 2017 and 2018, about half of the fields were mowed 3 times, most (i.e. more than 90%) of the fields were mowed two to four times. No statistically significant differences were found in the distribution of the number of mowings between the years ($\chi^2 = 1941.2$; $p > 0.05$, $df = 4$). In both years, we detected plowing on about 2.5 percent of the grasslands. The developed methods were then validated on data for the whole country for 2019.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela oz. ciljev raziskovalnega projekta²

Metode

Izbrali šest območij, ki odražajo pestrost pridelave in ukrepov SKP, ter posebno strukturo v Sloveniji. Vsa so kvadratne oblike velikosti 10x10 km. Izbranih šest območij, od Vzhoda proti Zahodu, je: Goričko, Lenart, Brežice, Barje, Bohinj, Kras. Določili smo tudi ukrepe SKP: določitev vrste ali skupin vrst kmetijske rastline, minimalna aktivnost, košnja, oranje, zimsko varstvo tal, datumsko predpisana prisotnost rastlin. Zaradi visoke fragmentiranosti in razmeroma majhnih površin slovenskih poljin, smo se omejili na indekse, ki uporabljajo spektralne pasove z največ 10 m prostorsko ločljivostjo. Izbrali smo 11 indeksov, ki so vezani na oziroma uporabljajo: (1) razvoj rastlin (bujnost rasti ali indeks listen površine - LAI), (2) razvoj rastlin in so prilagojeni za odboj tal, (3) robni rdeči pas, (4) vsebnost klorofila: OSAVI, NDVI, MCARI, GNDVI, GOSAVI, PSSRA, TCARI, TVI, GLI, MTVI1, EVI2. Poleg spektralnih podatkov v obliki spektralni indeksov v časovni vrsti, smo pri razvoju klasifikacijskih modelov uporabili tudi geografske in fenološke podatke. Datumi pojava fenoloških faz posameznih posevkov so zato orientacijske narave, predpostavljamo, da so na večini kmetijskih zemljišč določen posevek sejali v časovnem razponu 14 dni. Podatke v časovni vrsti za določanje sprememb smo zgladili z izračunom drsečega povprečja (širina simetričnega okna 10 dni). Ker nismo imeli na voljo zanesljivih »ground-truth« podatkov,

smo izračunali povprečne vrednosti indeksa MCARI za vsa travinja, ločeno po testnih območjih. Nato smo določili točki z največjim padcem vrednosti indeksa. Optimalni časovni razpon 15 dni smo določili s preizkušanjem vrednosti v razponu 10 - 30 dni. Iz tako dobljenih enačb linearne regresije smo določili mejni naklon, ki nakazuje hitro spremembo vrednosti indeksa.

Klasifikacije

Z vsemi izbranimi indeksi v časovni vrsti smo izvedli klasifikacije vrst poljine z algoritmom odločitvenih dreves RandomForest. Med posameznimi indeksi smo dosegli najvišjo zanesljivost z indeksom MCARI. Slednji se je izkazal tudi za najbolj primerne za spremljanje fenološkega razvoja rastlin. Nato smo testirali različne algoritme strojnega učenja za klasifikacijo vrst rastlin.

Najboljše rezultate smo dosegli z RandomForest in nevronske mreže Multilayer Perceptron. Izbrali smo MLP, saj so odločitvena drevesa nagnjena k prevelikemu prileganju podatkom. Spektralne indekse smo združili v komponentah analize glavnih komponent za vsak dan. Za klasifikacije smo podatke smo razdelili v dve skupini: 66% podatkov smo uporabili za treniranje algoritmov in 34% za validacijo. Ločevanje šestih vrst posevkov je bilo uspešno z 81% klasifikacij. Ločevanje ozimne pšenice in ozimnega ječmena med seboj je nezanesljivo, prav tako je nezanesljivo ločevanje med vsem tremi vrstami travinja. Zato smo vrste posevkov oziroma rastlin združili v tri nove razrede: (1) koruza, (2) travinje (vse tri skupine travinj) in (3) žita (pšenica in ječmen). S tako združenimi podatki smo zvišali uspešnost klasifikacij na 92,74%. Z uporabo podatkov fenofaz rastlin smo zanesljivost povišali na 94,29%. Testirali smo tudi podatke satelitov WorldView-2 in Geoeeye-1, ter Planetscope, z višjo prostorsko ločljivostjo, na območju Kras. Z njimi smo malenkost izboljšali uspešnost klasifikacij, iz 90,8 % (Sentinel-2) na 91,7 % (WorldView-2/Geoeeye-1) oziroma 91,5 % (Planetscope). Pri zaznavanju sprememb na zemljiščih nismo opazili sprememb ob hkratni uporabi podatkov Sentinel in WorldView + GeoEye.

Določanje sprememb

Košnjo spremljamo od 1.4. do 15.10. V celotnem letu spremljamo tudi hkratni pojav hitrih sprememb in padca indeksa NDVI pod vrednost 0,2, in traja najmanj 30 dni, kar nakazuje, da na poljini ni prisotnih rastlin, kar interpretiramo kot pojav oranja. V letih 2017 in 2018 na izbranih območjih na travinjah nismo zaznali poljine, ki ne bi bila košena. V obeh letih je bila približno polovica poljin košena 3-krat, večina (t.j. več kot 90%) poljin je bila košena dva do štirikrat. V porazdelitvi števila košenj med letoma nismo našli statistično značilnih razlik (Chi = 1941,2; $p > 0.05$, $df = 4$). Na večini travinj nismo zaznali oranja. Med letoma je sicer razmeroma visoka razlika v

odstotku travinja v razredih 0 in <30 (število dni, ko je bil zaznan padec vrednosti indeksa MCARI in so bile vrednosti indeksa NDVI pod 0,2), vendar ta razlika ni statistično značilna ($\chi^2 = 1943,2$; $p > 0.05$, $df = 3$). V obeh letih smo zaznali oranje na približno 2,5 odstotkih poljin. Ker so vsi rezultati povezani s podatki KMG-MID in identifikatorji poljin, lahko rezultate prikažemo v obliki kart.

Validacija v 2019

Pri validaciji s podatki leta 2019 je algoritem dosegel uspešnost 90,5% pravih klasifikacij. Najnižja uspešnost je bila pri koruzi (0,84), najvišja pri travinju (0,96). Z upoštevanjem fenološkega stanja rastlin smo skupno uspešnost povišali za 1,2% na 91,3%. Ponovno smo zvišali uspešnost klasifikacije koruze in žit, prve za 1,3% in druge za 4%. Torej lahko z razmeroma visoko zanesljivostjo trdimo, da je določevanje vrste posevka s hkratno uporabo satelitskih fenoloških in geografskih podatkov razmeroma zanesljivo. V letu 2019 smo zaznali 2.926 poljin, ki niso bile košene, kar je 0,94% vseh poljin. Večino poljin so kosili dva do štirikrat (90,86%). Oranje v zimskem času smo zaznali pri 17.668 poljinah (4,11%), od teh 3.313 na travinju (1,04%). Te poljine niso bile pokrite z rastlinsko odejo najmanj 30 dni.

Podrobnejše poročilo je v prilogi 1.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Projekt je v večji meri potekal po načrtu dela. Dosegli smo vse zastavljene cilje projekta:

- (1) Razvili smo metodo za določanje vrste posevka s satelitskimi podatki v časovni vrsti.
- (2) Razvili smo metodo za določanje sprememb na kmetijskih zemljiščih s satelitskimi podatki v časovni vrsti.
- (3) Rezultati analiz so dostopni na spletni platformi Geopedia.world (trenutno je dostop omejen zaradi GDPR).
- (4) Izvedli smo primerjalno analizo podatkov konstelacije Sentinel-2 in drugih virov podatkov, z boljšo prostorsko ločljivostjo.
- (5) Izvedli smo analizo metod predprocesiranja satelitskih podatkov.
- (6) Izvedli smo dve delavnici za končne uporabnike.

Projekt je tudi dosegel odmevnost med splošno javnostjo in mediji, predvsem s predstavitvijo na posvetu o uporabi posnetkov konstelacije Sentinel v kmetijstvu, na mednarodnem sejmu Agra 2019.

6. Spremembe programa dela raziskovalnega projekta oziroma spremembe sestave projektne skupine⁴

Projekt je v večji meri potekal po načrtu dela. Pojavile so se le težave s predvidenim multispektralnim in hiperspektralnim snemanjem testnih površin. Zaradi resne poškodbe brezpilotnega letalnika in kamere na njem, je bil ta sistem celotno leto 2019 na popravilu in ga nismo mogli uporabljati. Hkrati je operater za letalsko snemanje zamenjal letalo, v katerem smo ugotovili resne težave z ozemljitvijo električne napeljave, zaradi česar ni deloval sistem za pozicioniranje letala (IMU – inertial measurement unit) in smo ga bili prisiljeni zamenjati. Ta sistem je ključnega pomena za delovanje hiperspektralnega sistema, tako da tudi tega nismo mogli izvesti. Po predlogu vsebinskih spremljevalk projekta, smo te podatke nadomestili z drugimi satelitskimi podatki. Zato smo pridobili dostop do podatkov satelitskega sistema PlanetScope, z razmeroma visoko prostorsko ločljivostjo (0,5 m), vendar s slabšo spektralno ločljivostjo. Te podatke smo testirali na istem območju in letih, kot podatke Sentinel-2 in WorldView-3/Geoeye 1.

Zaradi pandemije virusa SARS-Covid-19 smo izvedli delavnico o uporabi sistema za spremljanje stanja in avtomatsko zaznavanje sprememb na kmetijskih zemljiščih, ter uporabi spletne platforme za vpogled v rezultate, z uporabo spletne platforme Zoom. Delavnice se je udeležilo 28 slušateljev, delovanje sistema so predstavili mag. Matej Knapič, dr. Grega Milčinski in dr. Uroš Žibrat.

7. Najpomembnejši dosežki projektne skupine na raziskovalnem področju⁵

Dosežek		
1.	COBISS ID	5710952 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Postopek za slikanje, ekstrakcijo, predobdelavo in obdelavo hiperspektralnih posnetkov v časovni vrsti za določanje izvora suše v paradižniku
	ANG	Pipeline for imaging, extraction, pre-processing, and processing of time-series hyperspectral data for discriminating drought stress origin in tomatoes
Opis	SLO	V članku predstavljamo postopek zajema, predobdelave in obdelave hiperspektralnih podatkov v časovni vrsti za ločevanje vira sušnega stresa v paradižniku. S kombinacijo večspektralnih posnetkov v časovni vrsti, metod redukcije dimenzionalnosti podatkov in strojnega učenja smo zanesljivo ločili med biotskim in abiotskim stresom pri paradižniku.
	ANG	In this paper, we present a process for image acquisition, pre-processing and processing of hyperspectral data in a time series to separate the source of drought stress in tomatoes. Using a combination of spectral data in a time series, data dimensionality reduction methods, and machine learning, we reliably distinguished between biotic and abiotic stress in tomatoes.
Objavljeno v	Elsevier; MethodsX; 2019; Vol. 6; str. 399-408; Avtorji / Authors: Žibrat Uroš, Susič Nik, Knapič Matej, Širca Saša, Strajnar Polona, Razinger Jaka, Vončina Andrej, Urek Gregor, Gerič Stare Barbara	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	39990533 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Predstavitev naravnih barv podatkov Sentinel-2
	ANG	Natural color representation of Sentinel-2 data
Opis	SLO	V tem prispevku smo opredelili naravni barvni izdelek, predlagali dva učinkovita pristopa za njegov izračun, analizirali rezultate in izdelke implementirali v produktu za interaktivno uporabo. Naši algoritmi delujejo na posameznih rastrskih celicah in zato naravno paralelizirajo. Predstavljeni pristopi so splošni in niso omejeni na podatke Sentinel-2.
	ANG	In this paper we define the natural color product, propose two efficient approaches for computing it, analyze the results, and implement the products on a satellite imagery service for interactive use. Our algorithms work on a per-pixel basis and hence parallelize naturally. The presented approaches are general and not limited to Sentinel-2 data.
Objavljeno v	American Elsevier Pub. Co.; Remote sensing of environment; 2019; Vol. 225; str. 392-402; Impact Factor: 8.218; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.022; A": 1; A': 1; WoS: SR, JA, UE; Avtorji / Authors: Sovdat Blaž, Kadunc Miha, Batič Matej, Milčinski Grega	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

8. Najpomembnejši dosežek projektne skupine na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti⁶

		Dosežek	
1.	COBISS ID	15096579	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba satelitov Sentinel v kmetijstvu in projekt CRP V4-1811
		ANG	Use of Sentinel satellites in agriculture and project CRP V4-1811
	Opis	SLO	TV Slovenija, 1. program, oddaja Ljudje in zemlja, 1. sep. 2019
		ANG	TV Slovenija, 1. programme, People and earth, 1. sep. 2019
	Šifra	B.06	Drugo
	Objavljeno v	2019; Avtorji / Authors: Žibrat Uroš	
Tipologija	3.11 Radijski ali TV dogodek		
2.	COBISS ID	15092739	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	CRP V4-1811 Uporaba podatkov satelitskega sistema Sentinel ter nekaterih ostalih podatkov daljinskega zaznavanja za kontrolo neposrednih plačil v kmetijstvu
		ANG	Use of Sentinel satellite data and some other remote sensing data to monitor direct payments in agriculture
	Opis	SLO	Predavanje na posvetu Raba satelitskih posnetkov v kmetijstvu - priložnosti in spremembe, sejem AGRA, 26. avg. 2019
		ANG	Lecture at the conference Use of satellite images in agriculture - opportunities and changes, AGRA fair, 26 Aug. 2019
	Šifra	B.04	Vabljen predavanje
	Objavljeno v	2019; Avtorji / Authors: Žibrat Uroš	
Tipologija	3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa		
3.	COBISS ID	5587560	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Raba in varstvo vodnih virov
		ANG	Use and conservation of water resources
	Opis	SLO	To tri-urno predavanje se osredotoča na uporabo metod daljinskega zaznavanja za varstvo vodnih virov v kmetijski dejavnosti, na primer določanje suše. Predstavljeni so različni sistemi daljinskega zaznavanja (multi- in hiperspektralni, lidar, radar) na različnih platformah (sateliti, letalo, teren). Predavanje zajema tudi metode predprocesiranja posnetkov (georeferenciranje, ortorektifikacija, atmosferske korekcije, spektralni indeksi, derivatne analize itd.) in analize podatkov (strojno učenje, časovna sosledja, multivariantne analize).
		ANG	This 3-hour lecture focuses on remote sensing of water resources in agriculture, e.g. detection of drought stress. Different remote sensing systems are presented (multi- and hyperspectral, lidar, radar), and different platforms (satellite, airborne, ground-based sensing). Furthermore, image pre-processing (georeferencing, orthorectification, atmospheric corrections, spectral indices, derivatives ...) and data analysis (machine learning, time-series, multivariate analysis ...) are also discussed.
	Šifra	B.04	Vabljen predavanje
	Objavljeno v	2018; Avtorji / Authors: Žibrat Uroš	
Tipologija	3.14 Predavanje na tuji univerzi		
4.	COBISS ID	22995971	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Multispektralno slikanje z dronom in uporaba Sentinel satelitskih posnetkov za spremljanje rasti in določevanje potreb po dušiku v tleh
		ANG	UAV multispectral imaging and application of Sentinel satellite imaging for plant development and determining nitrogen requirements

Dosežek		
Opis	SLO	Prikazali smo rezultate analiz spremljanja razvoja rastlin in njihovih potreb po dušiku z uporabo multispektralnih posnetkov z dveh platform, brezpilotni letalnik in satelit.
	ANG	We presented the results of analyzes of monitoring plant development and their nitrogen needs using multispectral images from two platforms, an unmanned aerial vehicle and a satellite.
Šifra	B.06	Drugo
Objavljeno v	2020; Avtorji / Authors: Knapič Matej, Germšek Blaž, Žibrat Uroš	
Tipologija	3.15 Prispevek na konferenci brez natisa	

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

V januarju 2018 se je pričel projekt H2020 Perceptive Sentinel, ki ga koordinira podjetje Sinergise. Podjetje Sinergise je tudi prejelo nagrado European EO Company of the Year, ki jo podeljuje Evropska zveza podjetij za zaznavanje na daljavo (European association of remote sensing companies, EARSC). Za dostop do satelitskih podatkov konstelacije Planetscope, smo pri Evropski vesoljski agenciji v okviru programa ESA Third party missions, prijaviteli nov projekt z naslovom "Crop type classification and change detection in a highly fragmented agricultural area in Slovenia" (ID 62656). Ta projekt smo tudi uspešno zaključili in oddali končno poročilo.

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

10.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

The use of satellite remote sensing methods is a constant in many scientific sciences today. However, research is often based on analyses of individual recordings, and time sequences are mostly treated as individual recordings with longer time intervals between them. As part of this project, we processed satellite images in a time series that was treated as a continuous data set. Individual spectral indices are most often analysed in chronological order. By simultaneously using different spectral indices in a time series, we upgraded or eliminated this shortcoming. In analyses, we can thus capture a larger part of the spectrum than is taken into account by an individual index. Our method of determining changes in agricultural land is independent of the absolute values of an individual spectral index, as it measures the rate of change of value over a given period. So it is relatively universally usable and can be used for other applications as well. The scientific community has thus received tools for processing large amounts of data in chronological order, which will allow more reliable identification of objects, processes and changes, such as fire detection, drought, etc.

ANG

The use of satellite remote sensing methods is a constant in many scientific sciences today. However, research is often based on analyses of individual recordings, and time sequences are mostly treated as individual recordings with longer time intervals between them. As part of this project, we processed satellite images in a time series that was treated as a continuous data set. Individual spectral indices are most often analysed in chronological order. By simultaneously using different spectral indices in a time series, we upgraded or eliminated this shortcoming. In analyses, we can thus capture a larger part of the spectrum than is taken into account by an individual index. Our method of determining changes in agricultural land is independent of the absolute values of an individual spectral index, as it measures the rate of change of value over a given period. So it is relatively universally usable and can be used for other applications as well. The scientific community has thus received tools for processing large amounts of data in chronological order, which will allow more reliable identification of objects, processes and changes, such as fire detection, drought, etc.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Sistem za avtomatsko identifikacijo sprememb na kmetijskih površinah je v prvi vrsti namenjen Ministrstvu za kmetijstvo oziroma njegovim organom v sestavi, ki ga bo lahko uporabila za neposredni nadzor nad izvajanjem kmetijske politike in za podeljevanje finančnih podpor pridelovalcem. Dostop, uporaba in interpretacija satelitskih podatkov so doslej bili oteženi, saj zahtevajo obsežno strokovno znanje in čas. Prav tako ni na voljo veliko produktov, ki bi bili narejeni za reševanje specifičnih problemov. Za povečanje zanesljivosti rezultatov daljinskega zaznavanja je potrebno tudi združiti različne vire podatkov in jih integrirati v obstoječe baze podatkov. Naš sistem za avtomatsko identifikacijo sprememb in določanje vrste posevkov na kmetijskih površinah je dostopen in razumljiv tudi nestrokovni javnosti, s čimer bo omogočil razvoj novih in optimizacijo obstoječih produktov. Za ustrezno izvajanje kmetijske politike skozi sistem neposrednih finančnih spodbud je potreben ustrezen nadzor, ki preprečuje zlorabe sistema in zagotavlja njegovo transparentnost. Najzanesljivejši je neposredni monitoring stanja, neposredno na kmetijskih površinah. Zaradi visoke razdrobljenosti slovenskega kmetijskega prostora in razmeroma težke dostopnosti nekaterih predelov, je neposreden nadzor oviran. Prav tako nam primanjkuje ustrezno število pooblaščenih nadzornikov, ki bi lahko opravljali terenske preglede. Zato je uporaba metod daljinskega zaznavanja z avtomatskim zaznavanjem sprememb v rabi kmetijskih zemljišč dobra rešitev problematike. Z diseminacijo in komunikacijo smo dosegli širjenje zavesti o zaznavanju na daljavo in njegovi uporabnosti, ne le za kmetijstvo, ampak tudi druga področja uporabe.

ANG

The system for automatic identification of changes in agricultural land is primarily intended for the Ministry of Agriculture or its constituent bodies, which will be able to use it for direct control over the implementation of agricultural policy and for granting financial support to producers. Access, use and interpretation of satellite data have so far been difficult as they require extensive expertise and time. There are also not many products available that would be made to solve specific problems. To increase the reliability of remote sensing results, it is also necessary to combine different data sources and integrate them into existing databases. Our system for automatic identification of changes and determination of the type of crops on agricultural land is accessible and understandable even to the non-professional public, which will enable the development of new and optimization of existing products. Proper implementation of agricultural policy through a system of direct financial incentives requires appropriate controls to prevent abuses of the system and ensure its transparency. The most reliable is direct monitoring of the situation, directly on agricultural land. Due to the high fragmentation of the Slovenian agricultural area and the relatively difficult accessibility of some areas, direct control is hampered. We also lack an adequate number of authorized supervisors who could perform field inspections. Therefore, the use of remote sensing methods with automatic detection of changes in agricultural land use is a good solution to the problem. Through dissemination and communication, we have achieved the spread of awareness of remote sensing and its applicability, not only for agriculture but also other areas of application.

11. Vpetost raziskovalnih rezultatov projektne skupine

11.1. Vpetost raziskave v domače okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- v domačih znanstvenih krogih
- pri domačih uporabnikih

Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?¹¹

Interes so izrazili številni pridelovalci, vključeni v program skupne kmetijske politike. Aktualnost tematike je dobro ilustrirana z množično obiskanim posvetom o uporabi satelitskih posnetkov v kmetijstvu, ki je potekal na sejmu Agra leta 2019. Interes so prav tako izkazali novinarji takoj po temu posvetu, iz oddaje RTV SLO 1 Ljudje in zemlja. Spoznanja tega projekta bodo neposredno uporabna pri projektu ARRS L4-1840, v

sodelovanju z Biotehniško fakulteta Univeze v Ljubljani.
--

11.2. Vpetost raziskave v tuje okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- v mednarodnih znanstvenih krogih
 pri mednarodnih uporabnikih

Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujini raziskovalnimi inštitucijami:¹²

Uspešno smo prijavi in zaključili projekt na Evropski vesoljski agenciji (ESA), kjer smo uporabili podatke konstelacije Planetscope za določanje vrst posevkov ter sprememb na kmetijskih zemljiščih. Spoznanja tega projekta nam bodo koristila pri trenutno potekajočem projektu NemDetect. Projekt je sofinanciran s strani European food safety authority - EFSA, partnerji iz Belgije (ILVO) in Velike Britanije (Univerza v Newcastlu), vodilni partner je Kmetijski inštitut Slovenije.
--

Kateri so rezultati tovrstnega sodelovanja:¹³

Projekt ESA je predstavljen na spletni strani Evropske vesoljske agencije, kjer so dostopni tudi rezultati oziroma končno poročilo projekta. V okviru končnega poročila tega projekta, smo tudi podali analizo ustreznosti sistema Planetscope za potrebe naših analiz. Te analize nato služijo za izboljšanje delovanja sistema Planetscope ter programa dostopa do satelitskih podatkov ESA Third party missions.

12. Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

13. Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.04.06.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture						
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

14. Naslov spletne strani za projekte, odobrene na podlagi Javnih razpisov za sofinanciranje ciljnih raziskovalnih projektov za leta 2017, 2018 in 2019¹⁴

http://www.kis.si/Ciljni_raziskovalni_programi_CRP/Projekt_V4-1811/

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki (v primeru, da poročilo ne bo oddano z digitalnima podpisoma);
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta;
- bomo sofinancerjem istočasno z zaključnim poročilom predložili tudi elaborat na zgoščenki (CD), ki ga bomo posredovali po pošti, skladno z zahtevami sofinancerjev.

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije prijaviteljice:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Kmetijski inštitut Slovenije

Uroš Žibrat

ŽIG

Datum: 13.5.2021

Oznaka poročila: ARRS-CRP-ZP-2021/22

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku). [Nazaj](#)

² Navedite cilje iz prijave projekta in napišite, ali so bili cilji projekta doseženi. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Navedite morebitna bistvena odstopanja in spremembe od predvidenega programa dela raziskovalnega projekta, zapisanega v prijavi raziskovalnega projekta. Navedite in utemeljite tudi spremembe sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta. Če sprememb ni bilo, navedite »Ni bilo sprememb«. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite dosežke na raziskovalnem področju, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FORD področja ter podatke, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite dosežke na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti, ki so nastali v okviru tega projekta. Dosežke iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FORD področja ter podatke, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Dosežek na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti je po svoji strukturi drugačen kot dosežek na raziskovalnem področju. Povzetek dosežka na raziskovalnem področju je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek dosežka na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. v sistemu COBISS rezultat ni evidentiran). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹¹ Največ 500 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹² Največ 500 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹³ Največ 1.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹⁴ Izvajalec mora za projekte, odobrene na podlagi Javnega razpisa za izbiro raziskovalnih projektov Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2017« v letu 2017 in Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2019« v letu 2019 ter Javnega razpisa za izbiro raziskovalnih projektov Ciljnega raziskovalnega programa »Zagotovimo.si hrano za jutri« v letu 2018, na spletnem mestu svoje RO odpreti posebno spletno stran, ki je namenjena projektu. Obvezne vsebine spletne strani so: vsebinski opis projekta z osnovnimi podatki glede financiranja, sestava projektne skupine s povezavami na SICRIS, faze projekta in njihova realizacija, bibliografske reference, ki izhajajo neposredno iz izvajanja projekta ter logotip ARRS in drugih sofinancerjev. Spletna stran mora ostati aktivna še 5 let po zaključku projekta. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-CRP-ZP/2021 v1.00
20-01-47-F5-7A-FE-93-AD-72-F0-7B-2B-88-5D-D1-6E-97-08-0E-5C

Priloga 1: Končno poročilo

Raziskovalni projekt V4-1811 v sklopu Ciljnega raziskovalnega programa
»Zagotovimo.si hrano za jutri«

KONČNO POROČILO

**Uporaba podatkov satelitskega sistema Sentinel ter nekateri ostalih podatkov
daljinskega zaznavanja za kontrolo neposrednih plačil v kmetijstvu**

Izvajalec: Kmetijski inštitut Slovenije

Poročilo pripravila:
dr. Uroš Žibrat in mag. Matej Knapič

Ljubljana, 30.10.2020

Kazalo vsebine

DS 1 Vodenje projekta	3
DS 2 Analiza uporabnosti različnih prostorskih podatkov in drugih podatkov daljinskega zaznavanja za izboljšanje rezultatov podatkov satelita(ov) Sentinel	4
DS 3 Analiza metod za predobdelavo Sentinel posnetkov in testiranje algoritmov za avtomatsko detekcijo sprememb na kmetijskih zemljiščih in kmetijskih parcelah prijavljenih v ukrepe SKP	6
Metode za predobdelavo Sentinel posnetkov	6
Izbor biofizikalnih indeksov	7
Analiza časovne vrste	8
Avtomatsko zaznavanje košnje in oranja	14
DS 4 Določitev testnih območij in preizkušanje izbranih algoritmov za spremljanje ukrepov SKP	17
Izbor območij	17
Izbor ukrepov SKP	20
Testiranje spektralnih indeksov	21
DS 6 Validacija rezultatov avtomatskih procesov identifikacije sprememb ter izbor uporabnih metod	30
DS 7 Komunikacija z naročnikom oziroma uporabniki	32

DS 1 Vodenje projekta

Projekt je v večji meri potekal po načrtu dela. Pojavile so se le težave s predvidenim multispektralnim in hiperspektralnim snemanjem testnih površin. Zaradi resne poškodbe brezpilotnega letalnika in kamere na njem, je bil ta sistem celotno leto 2019 na popravilu in ga nismo mogli uporabljati. Hkrati je operater za letalsko snemanje zamenjal letalo, v katerem smo ugotovili resne težave z ozemljitvijo električne napeljave, zaradi česar ni deloval sistem za pozicioniranje letala (IMU – inertial measurement unit) in smo ga bili prisiljeni zamenjati. Ta sistem je ključnega pomena za delovanje hiperspektralnega sistema, tako da tudi tega nismo mogli izvesti. Zato smo pridobili dostop do podatkov satelitskega sistema PlanetScope, z razmeroma visoko prostorsko ločljivostjo. Te podatke smo testirali na istem območju in letih, kot podatke Sentinel-2 in WorldView-3/Geoeye 1.

Zaradi pandemije virusa SARS-Covid-19 smo izvedli delavnico o uporabi sistema za spremljanje stanja in avtomatsko zaznavanje sprememb na kmetijskih zemljiščih, ter uporabi spletne platforme za vpogled v rezultate, z uporabo spletne platforme Zoom. Delavnice se je udeležilo 25 slušateljev, delovanje sistema so predstavili mag. Matej Knapič, dr. Grega Milčinski in dr. Uroš Žibrat. Datoteke s predstavitve so s strani KIS posredovali slušateljem.

DS 2 Analiza uporabnosti različnih prostorskih podatkov in drugih podatkov daljinskega zaznavanja za izboljšanje rezultatov podatkov satelita(ov) Sentinel

Spektralne lastnosti poljin so odvisne od številnih dejavnikov, na primer vrste posevka, atmosferskih razmer, topografije in vidnega kota sensorja. Velik del spektralne variabilnosti poljin lahko zajamemo s posnetki v časovni vrsti, zato so slednji tako pomembni za določanje vrst posevkov ter zaznavanje sprememb. Meritve sprememb v času enega leta omogočajo zaznavanje sprememb znotraj ene vrste posevka (na primer košnja travinj) ali spremembe krovnih rastlin (na primer oranje travinj), kot tudi klasifikacijo vrste posevka za nadzor nad izvajanjem SKP. Podatki v časovni vrsti vsebujejo veliko količino informacij, katere lahko analiziramo s številnimi metodami (Preglednica 1). Osnovni statistični podatki v kombinaciji z naprednimi klasifikacijskimi metodami omogočajo določanje vrste posevka, ter zaznavanje sprememb znotraj poljin. Trende merimo v daljših, večletnih obdobjih. Z njimi lahko zaznamo spremembe na večjih območjih, na primer poškodbe in obnova gozdov po žledolomu.

Zaradi nizkih prostorskih ločljivosti satelitskih sistemov se pogosto srečamo s t.i. mešanimi spektralnimi podpisi, kjer je v eni rastrski celici zajeto več objektov. V kmetijstvu posamezne rastrske celice zajamejo spektralne podpise senčnih listov, stebelj, cvetov, plodov in ozadja (i.e. zemlje), ki je lahko deloma senčena in različnih vlažnosti. Mešanim spektralnim podpisom se v kmetijstvu ne moremo nikoli popolnoma izogniti, lahko pa zmanjšamo njihov vpliv z uporabo podatkov s čim višjo prostorsko ločljivostjo. Slednja je odvisna od vrste sensorja oziroma satelita, splošno pravilo pa je, da imajo komercialni sateliti boljše karakteristike (Preglednica 2). Intervali snemanja so tudi ključnega pomena za analize posnetkov v časovni vrsti. Predvsem za zaznavanje sprememb na poljinah potrebujemo podatke s čim višjo časovno ločljivostjo. Slednja se prav tako razlikuje med sateliti, trenutno najvišjo imajo sateliti Sentinel. Prostorsko in spektralno najnatančnejše podatke dobimo z uporabo letalskega hiperspektralnega slikanja, ki je možno tudi v časovni vrsti s poljubno ločljivostjo (odvisno od vremenskih razmer in stroškov).

Preglednica 1: Dejavniki pridobljeni iz sprektalnih podatkov v časovni vrsti in kaj lahko z njimi merimo. Zadnji stolpec kaže relativno pomembnost posameznega dejavnika med 1 (najmanj pomembno) in 3 (najbolj pomembno) za določanje vrst posevkov in zaznavanje sprememb na kmetijskih zemljiščih v enem letu.

Dejavnik	Lahko merimo	Relativna pomembnost
Statistični podatki	<ul style="list-style-type: none">• Opisna statistika spektralnih podatkov• Tipično za opis podatkov vezanih na sezonske spremembe in fenološki razvoj• Primer: povprečje, najvišje in najnižje vrednosti	3
Metrike sprememb	<ul style="list-style-type: none">• Opisni podatki časovnih odsekov• Tipično za celoletne podatke• Primer: trajanje, naklon, hitrost sprememb	3
Trend	<ul style="list-style-type: none">• Večletni trendi• Intervali so lahko neenakomerni	1

Preglednica 2: Primerjava različnih virov daljinskega zaznavanja na večjih območjih.

	Sentinel-2	WorldView-2	LandSat 8	Pleiades	PlanetScope	Letalsko hiperspektralno
Število pasov	12	8	11	5	4	> 100
Ločljivost	10 – 60 m	0,5 – 2,5 m	15 – 100 m	0,5 – 2 m	3-4	0,47 m
Časovno ločljivost	3 dni	1 dan	16 dni	1 dan	1	variabilno
So posnetki plačljivi?	Ne*	Da	Ne	Ne	Da	Da
So na voljo arhivski posnetki?	Da	Da**	Da	Da	Da	Da**
Relativna pomembnost	3	1	2	2	1	2

* obdelava posnetkov do nivoja L1C ali L2A je plačljiva, odvisno od dobavitelja posnetkov

** arhivski posnetki so na voljo samo na območjih, kjer je v preteklosti nekdo te posnetke naročil

DS 3 Analiza metod za predobdelavo Sentinel posnetkov in testiranje algoritmov za avtomatsko detekcijo sprememb na kmetijskih zemljiščih in kmetijskih parcelah prijavljenih v ukrepe SKP

Metode za predobdelavo Sentinel posnetkov

Multispektralni podatki satelitov konstelacije Sentinel se hranijo v petih nivojih, glede na stopnjo obdelave podatkov. Stopnja 0 (Level-0) zajema kompresirane surove spektralne podatke z dodatnimi podatki, potrebnimi za nadaljnjo obdelavo (na primer višina in ephemeride sensorja). Na naslednji stopnji, 1A (Level-1A) so na voljo dekomprimirani in georeferencirani podatki. Radiometrično korigirani podatki v enotah radiance na vrhu atmosfere (Top-of-atmosphere radiance) so voljo v nivoju 1B (Level-1B). Na tem nivoju je izvedeno tudi popravljanje okvarjenih rastrskih celic z interpolacijo. Ti trije nivoji podatkov niso na voljo za uporabnike satelitskih posnetkov konstelacije Sentinel. Uporabnikom sta na voljo samo nivoja 1B in 2A (Level-1C in Level-2A).

Za izdelavo podatkov nivoja 1C se izvede ortorektifikacija posnetkov, torej projekcija posnetkov v kartografsko geometrijo z uporabo digitalnega modela višin, projekciji UTM/WGS84. Podatke se prilagodi na konstantno ločljivost na tleh, glede na nativno ločljivost sensorja v posameznem spektralnem pasu, 10, 20 in 60 m. Podatki so na voljo kot svetlobni odboj (reflektanca) na vrhu atmosfere za vsako rastrsko celico. Na voljo pa so tudi podatki o skupnem ozonu in skupni vodni pari v stolpcu ter povprečnem tlaku nad morsko gladino. Ti podatki so potrebni za izvedbo atmosferskih korekcij in izračun podatkov nivoja 2A. Slednji je izpeljanka nivoja 1C, v katerem so na voljo podatke svetlobnega odboja na dnu atmosfere. V obeh nivojih je možno uporabiti maske oblakov.

Maske oblakov so eden ključnih postopkov predprocesiranja satelitskih posnetkov. Vplivajo na to, katere rastrske celice lahko uporabimo za nadaljnje delo ter na njihov spektralni podpis, kar ima neposreden vpliv na razvoj metod in rezultate analiz, na primer klasifikacij posevkov na poljinah in zaznavanje sprememb. Za maskiranje oblakov so najpogosteje uporabljeni štirje algoritmi: Fmask, Sen2Cor, MAJA in s2cloudless (razvoj tega poteka tudi v okviru projekta H2020 Perceptive Sentinel). Algoritem Fmask je bil razvit na podatkih satelitov Landsat in kasneje prilagojen tudi za Sentinel-2. Evropska vesoljska agencija uporablja algoritem Sen2Cor, namensko razvit za podatke satelita Sentinel-2. Ta dva algoritma uporabljata podatke enkratnega zajema posnetkov. Zajem podatkov v časovni vrsti uporablja algoritem MAJA, in je izmed teh treh najzaneslivejša. Vendar zahteva večjo količino podatkov in tehnično težja za uporabo. Ti trije algoritmi v osnovi delujejo podobno, z uporabo različnih numeričnih pragov na podatkih več spektralnih pasov Sentinel-2. Kompleksnejši pristop k zaznavanju oblakov uporablja algoritem s2cloudless. Ta algoritem prav tako deluje na podatkih enkratnega zajema posnetkov, vendar uporablja odločitvena drevesa (algoritem LightGBM) in poda za vsako rastrsko celico verjetnost, da jo pokriva oblak. Ti algoritmi imajo razmeroma podobne zanesljivosti pri določanju oblakov in ločevanju med oblaki in tlemi. Pomembne razlike nastopijo pri določanju visokih oblakov iz rodu *cirus*, ter zanesljivosti ločevanja med tlemi in oblaki (Preglednica 3).

Preglednica 3: Uspešnosti štirih algoritmov za določanje oblakov in ločevanje med oblaki in tlemi. Povzeto po Zupanc, 2017.

	Fmask	Sen2Cor	s2cloudless	MAJA
Oblaki	89,0 %	97,5 %	99,4 %	99,4 %
Cirus	88,3 %	87,7 %	83,8 %	64,1 %
Tla	92,8 %	94,3 %	97,8 %	99,7 %

Pri določanju oblakov in ločevanju med oblaki in tlemi je dosegel algoritem MAJA najboljše rezultate, vendar je bil pri določanju visokih oblakov najslabši. Algoritma Sen2Cor in s2cloudless imata zelo podobne uspešnosti, v povprečju je drugi boljši za približno 0,5 %. Pomembna razlika med algoritmi Sen2Cor, s2cloudless in MAJA je tudi potreben čas za izračun mask, saj MAJA potrebuje podatke v časovni vrsti in je tako bolj zamuden. Algoritem s2cloudless je prav tako implementiran v orodju eo-learn, zato smo se odločili, da ga uporabimo za predprocesiranje podatkov v tem projektu.

Izbor biofizikalnih indeksov

Analiz večspektralnih satelitskih posnetkov ne opravljamo na surovih podatkih (svetlobnem odboju, i.e. reflektanci) posameznih valovnih dolžin, temveč delamo s spektralnimi indeksi. Slednji so kombinacije dveh ali več spektralnih pasov in so indikatorji dejavnikov, ki nas zanimajo (na primer fiziološki dejavniki rastlin ali vsebnost dušika v tleh). Delimo jih na vegetacijske, geološke, vodne in vezane na od človeka zgrajene strukture. Eden prvih in še vedno popularnih vegetacijskih indeksov je NDVI, ki je v osnovi enostavna transformacija razmerja med rdečim in bližnje-infrardečim spektralnim pasom (normalized difference vegetation index). Danes imamo na voljo večje število spektralnih indeksov, vsem pa je skupno, da so v osnovi enostavna razmerja med manjšim številom spektralnih pasov, razmerje med dvema ali več indeksi ali pa so prilagoditve obstoječih indeksov. Uporabnost indeksov je odvisna od pasov, ki jih upoštevajo pri izračunu. Indeksi, ki uporabljajo rdeč del spektra, merijo spremembe v vsebnosti klorofila, ki v rdečem in modrem delu spektra močno absorbira svetlobo. Če indeksi uporabljajo pasove v zelenem ali rumenem delu spektra, pa upoštevajo druge pigmente (ksantofile, karotenoide, antocianine). Zanesljivost teh indeksov je odvisna od postavitve in spektralne širine pasov. Na primer, za določanje ksantofilov in karotenoidov je primernejši rumeni pas, ki pa ni na voljo na vseh satelitskih sistemih. Zaradi nizkih prostorskih ločljivosti satelitskih sistemov se pogosto srečamo s t.i. mešanimi spektralnimi podpisi, kjer je v eni rastrski celici zajeto več objektov. V kmetijstvu posamezne rastrske celice zajamejo spektralne podpise senčnih listov, stebelj, cvetov, plodov in ozadja (i.e. zemlje), ki je lahko deloma senčena in različnih vlažnosti. Raziskovalci so zato razvili posebne spektralne indekse, ki kompenzirajo vpliv tal na spektralni podpis (soil adjusted vegetation index – SAVI).

Izbor spektralnih indeksov je vezan tudi na želeno prostorsko ločljivost podatkov. Zaradi visoke fragmentiranosti in razmeroma majhnih površin slovenskih poljin, smo se omejili na indekse, ki uporabljajo spektralne pasove z največ 10 m prostorsko ločljivostjo. Izmed indeksov, ki izpolnjujejo ta pogoj, smo jih izbrali enajst (Preglednica 4), ki so vezani na oziroma uporabljajo:

- (1) razvoj rastlin (bujnost rasti ali indeks listne površine - LAI),
- (2) razvoj rastlin in so prilagojeni za odboj tal,
- (3) robni rdeči pas,
- (4) vsebnost klorofila.

Preglednica 4: Izbrani spektralni indeksi.

Indeks	Namembnost	Enačba	Referenca
OSAVI	Prilagojen za odboj tal	$1.5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + 0.16))$	Rondeaux, Geneviève; Steven, Michael; Baret, Frédéric - Optimization of soil-adjusted vegetation indices 1996
NDVI	Bujnost rasti	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$	Rouse, J.W., Jr.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. - Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation 1973
MCARI	Vsebnost klorofila	$(\text{RE740} - \text{RE705}) - (0.2 * (\text{RE740} - \text{GREEN}) * (\text{RE740} + \text{RE705}))$	Daughtry, C. S. T.; Walthall, C. L.; Kim, M. S.; de Colstoun, E. Brown; McMurtrey Iii, J. E. - Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance 2000
GNDVI	Bujnost rasti	$(\text{NIR} - \text{GREEN}) / (\text{NIR} + \text{GREEN})$	Gitelson, Anatoly A.; Kaufman, Yoram J.; Merzlyak, Mark N. - Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS 1996
GOSAVI	Prilagojen za odboj tal	$1.5 * ((\text{NIR} - \text{GREEN}) / (\text{NIR} + \text{GREEN} + 0.16))$	Rondeaux, Geneviève; Steven, Michael; Baret, Frédéric - Optimization of soil-adjusted vegetation indices 1996
PSSRA	Vsebnost klorofila	NIR / RED	Blackburn, G. A. - Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves 1998
TCARI	Vsebnost klorofila	$3 * (\text{RE705} - \text{RED}) - (0.2 * (\text{RE705} - \text{GREEN}) * (\text{RE705} / \text{RED}))$	Haboudane, Driss; Miller, John R.; Tremblay, Nicolas; Zarco-Tejada, Pablo J.; Dextraze, Louise - Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture 2002
TVI	LAI	$0.5 * (120 * (\text{RE740} - \text{GREEN}) - 200 * (\text{RED} - \text{GREEN}))$	Rouse, J.W., Jr.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. - Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation 1973
GLI	Vsebnost klorofila	$((2 * \text{GREEN}) - \text{RED} - \text{BLUE}) / ((2 * \text{GREEN} + \text{RED} + \text{BLUE}))$	Gobron, N.; Pinty, B.; Verstraete, M. M.; Widlowski, J. L. - Advanced vegetation indices optimized for up-coming sensors: Design, performance, and applications 2000
MTVI1	LAI	$1.2 * (1.2 * (\text{NIR} - \text{GREEN}) - 2.5 * (\text{RED} - \text{GREEN}))$	Haboudane, Driss; Miller, John R.; Pattey, Elizabeth; Zarco-Tejada, Pablo J.; Strachan, Ian B. - Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture 2004
EVI2	Bujnost rasti	$2.4 * (\text{NIR} + \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + 1)$	Miura, T.; Yoshioka, H.; Fujiwara, K.; Yamamoto, H., - Inter-Comparison of ASTER and MODIS Surface Reflectance and Vegetation Index Products for Synergistic Applications to Natural Resource Monitoring 2008

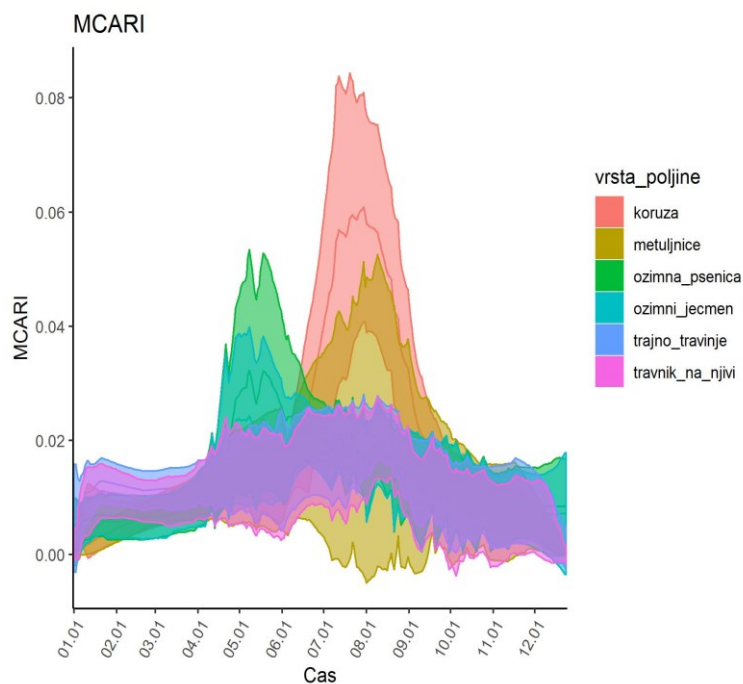
Analiza časovne vrste

Pri obdelavi časovne vrste posnetkov lahko govorimo o dveh načinih obdelave in sicer analizi kvalitativnih sprememb spektralnega podpisa v času v rastrski celici ter evidentiranja spremembe v časovni vrsti. Pri ugotavljanju sprememb je metoda sorazmerno jasna, saj se ugotavljajo spremembe z računskimi primerjavami satelitskih podob, medtem ko klasifikacija spektralnih podpisov terja bolj kompleksen pristop. Sateliti Sentinel zajemajo signal na območju Slovenije približno vsake tri dni. Vendar je končna količina razpoložljivih podatkov odvisna od več dejavnikov. Med najpomembnejšimi je oblačnost v času zajema podatkov. Pri prevzemu satelitskih podatkov smo postavili mejo 15% oblačnosti na posameznem posnetku. V enem letu sateliti opravijo približno 100 slikanj, primernih za analize pa je pravilno manj kot polovica. Število primernih posnetkov je tudi odvisno od območja Slovenije. Na primer, okolica Bohinja je pogosto prekrita z oblaki, torej je število primernih posnetkov še manjše. Prav tako lahko pride do okvare podatkov pri prenosu od satelita do bazne postaje, torej so luknje v podatkih naključno razporejene, tako v času (datumih) in prostoru (različna območja Slovenije). Da lahko med seboj primerjamo različna območja in leta, smo manjkajoče podatke interpolirali ločeno za vsako poljino. Tako smo pridobili svetlobni odboj in spektralne indekse za vsak dan v letu. Dodatne pomembne dejavnike sta velikost in oblika poljin, saj je od njiju odvisno število razpoložljivih rastrskih celic. Ker smo želeli pridobiti čim bolj kvalitetne podatke, s čim manj mešanih spektralnih podpisov, smo upoštevali tiste rastrske celice, ki so bile v celoti znotraj posamezne poljine (Slika 1). Tako smo sicer zmanjšali število razpoložljivih rastrskih celic, vendar smo hkrati povečali kvaliteto podatkov.

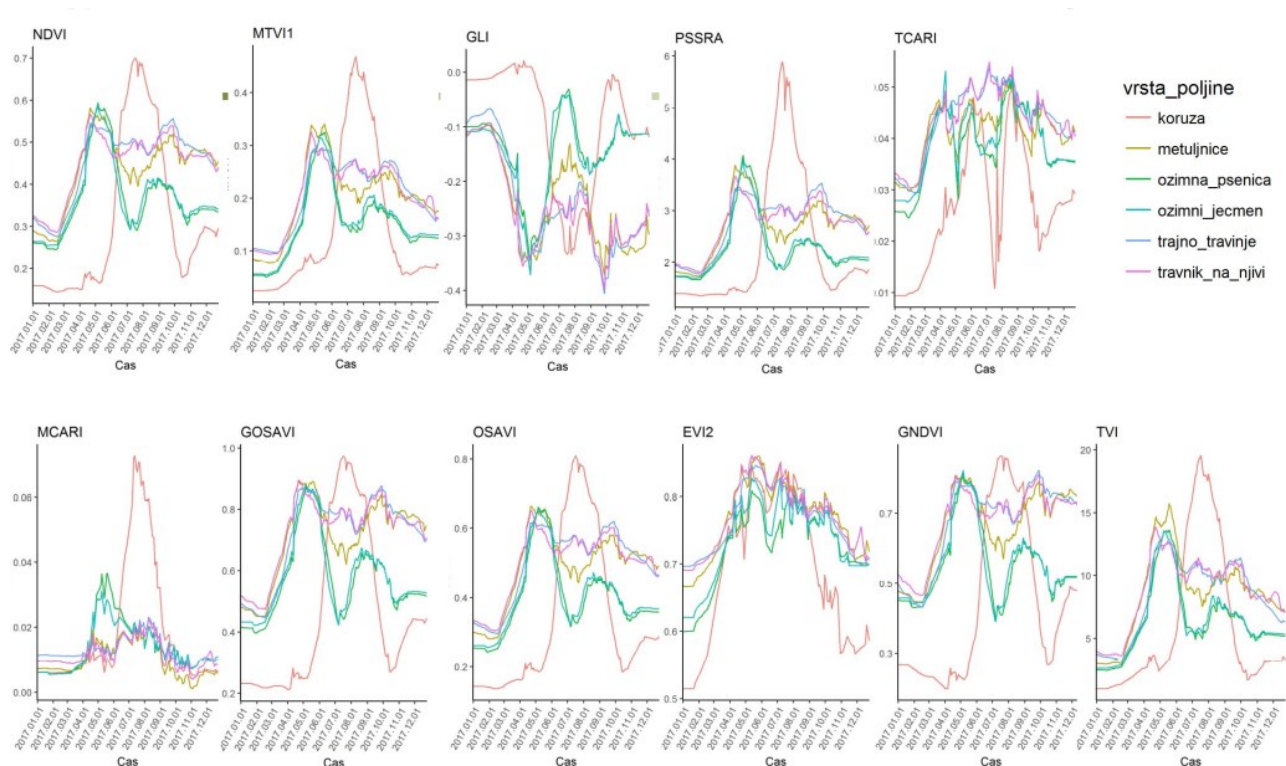


Slika 1: Primer dolge in ozke poljine, ker sta v celoti zajeti samo dve rastrski celici (rumeni). Vse ostale celice nosijo mešan spektralni signal.

Spektralni indeksi so zasnovani tako, da kar najbolj ocenjujejo biofizikalne parametre rastne odeje ob hkratnem zmanjševanju vpliva zunanjih dejavnikov (npr. vpadni kot sončne svetlobe in vidni kot), normalizirajo interne učinke (variabilnost znotraj rastlinske odeje), ter so vezani na biofizikalne in biološke dejavnike (npr. listna površina – LAI ali vsebnost klorofila). Vendar so vrednosti indeksov med različnimi objekti lahko zelo podobne (Slika 2), kar izrazito omejuje njihovo uporabnost za zanesljivo klasifikacijo celicam). Po drugi strani analiza časovne vrste posameznih indeksov oblikuje nove možnosti razlikovanja, saj so spremembe vrednosti indeksov pogojene z rastjo rastlin (Slika 3). Vendar so metode ločevanja posevkov v časovni vrsti pogoste omejene z uporabo samo enega indeksa, torej so omejene na informacije iz omejenega nabora spektralnih pasov (npr. pri najpogosteje uporabljenem indeksu NDVI na samo dva). Zato smo z analizo glavnih komponent (PCA) združili več indeksov in jih analizirali v časovni vrsti. Klasične multivariantne statistične metode klasifikacij posnetkov obravnavajo posamezne korake ločeno, torej zanemarijo časovno komponento. Za določanje vrste posevkov smo zato testirali več algoritmov strojnega učenja (na primer odločitvena drevesa in nevronske mreže), na podatkih ločenih po posameznih indeksih ter združenih podatkih izbranih indeksov.



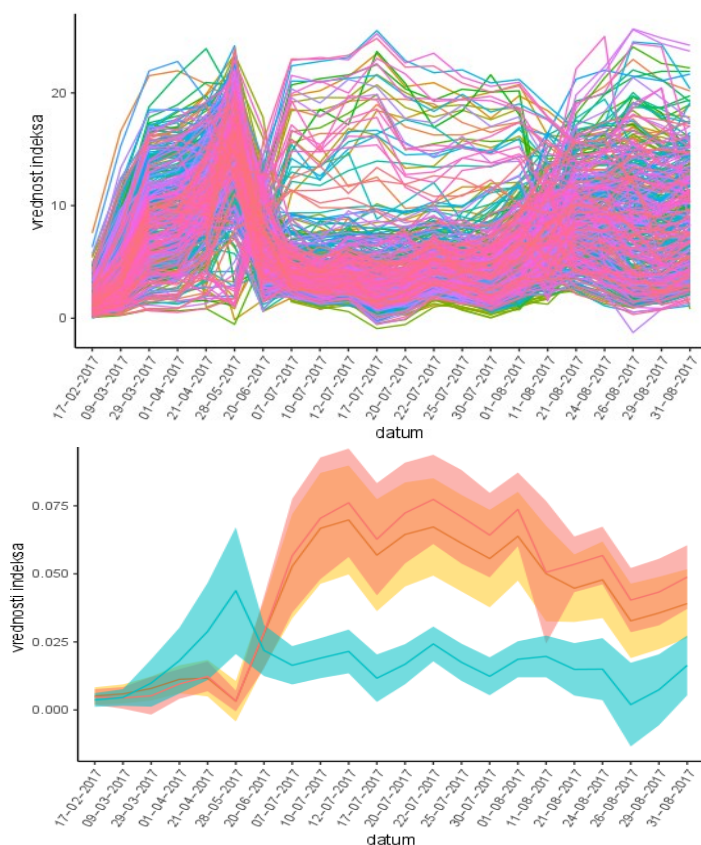
Slika 2: Primerjava povprečnih vrednosti indeksa MCARI s standardnimi deviacijami v časovni vrsti za vseh šest vrst posevkov za območje Lenart v letu 2017.



Slika 3: Povprečja izbranih spektralnih indeksov v časovni vrsti za vseh šest vrst posevkov za območje Lenart v letu 2017.

Pri razvoju klasifikacijskih modelov je ključnega pomena zanesljivost oziroma kvaliteta podatkov. Spektralne podatke s satelita je potrebno združiti z bazo podatkov zbirnih vlog. Nadzor nad kvaliteto satelitskih podatkov izvajamo s postopki pred-procesiranja, pri bazi zbirnih vlog pa je nadzor nad kvaliteto omejen. Tako smo pri preliminarnih analizah spektralnih indeksov v časovni

vrsti ugotovili, da so v nekaterih zbirnih vlogah navedeni napačni posevki (Slika 4). Najzanesljivejše podatke bi dobili s t.i. ground-truth nadzorom podatkov, kar pomeni, da bi za vse poljine, ki smo jih uporabili za razvoj in validacijo modelov, *in vivo* preverili stanje (na primer vrsta posevka in aktivnosti na poljini). Na ta način bi imeli zanesljive podatke, s katerimi bi z večjo gotovostjo opravili analize v časovni vrsti. Prav tako bi zmanjšali napake, ki so prisotne v zbirnih vlogah. Zato smo dodali korak predprocesiranja podatkov poljin, kjer so na zbirnih vlogah navedena žita ali koruza. Na teh podatkih smo izvedli nadzorovano klasifikacijo z algoritmom RandomForest. Algoritem je na teh podatkih dosegel 97% pravih klasifikacij, pri ločevanju koruze in žit. Razlike v časovni vrsti med koruzo in žiti so razmeroma izrazite, torej je možno natančno ločevanje. Ker smo za vsako poljino dobili verjetnost, da je na njej posamezna vrsta posevka, smo v naslednjem koraku primerjali poljine, kjer sta se razlikovala podatka v zbirnih vlogah in modelna napoved. Če je bila v takšnih primerih verjetnost napačnega posevka visoka (na primer v zbirni vlogi navedena pšenica, model pa je določil koruzo), t.j. nad 90%, smo tej poljini zamenjali vrsto posevka v zbirni vlogi. Tako popravljene podatke smo nato uporabili kot vhodne podatke za razvoj končnih modelov. Trajnih travinj, travnikov na njivi in metuljnic pri tem koraku nismo vključili, saj lahko imajo izrazito pestre vrstne sestave in so spektralno lahko zelo podobne koruzi. Če bi jih vključili v ta korak predpriprave podatkov, bi lahko v podatke vnesli nove napake in tako zmanjšali zanesljivost razvitih modelov.

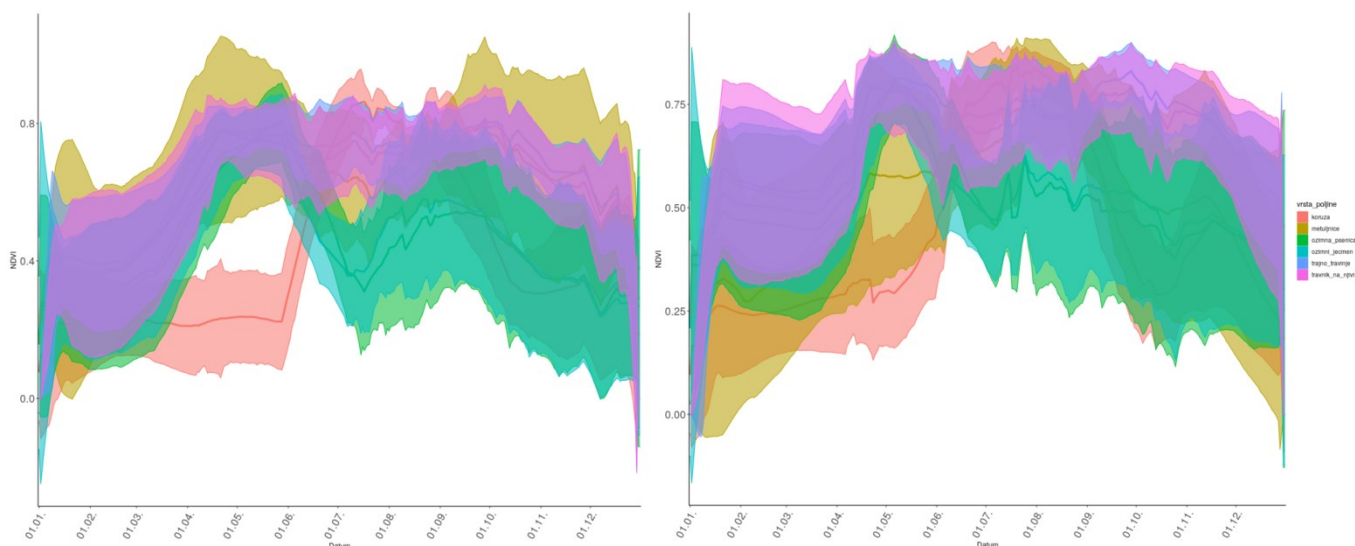


Slika 4: Vrednosti indeksa MCARI v časovni vrsti za območje Lenart v letu 2017 za pšenico. Zgornja slika prikazuje neagregirane podatke za vse poljine. Spodnja slika prikazuje povprečne vrednosti podatkov združenih po vrsti posevka (pšenica, koruza in neznano). Barve poligonov na spodnji sliki označujejo: modra – pšenica, oranžna – koruza, rumena – neznano.

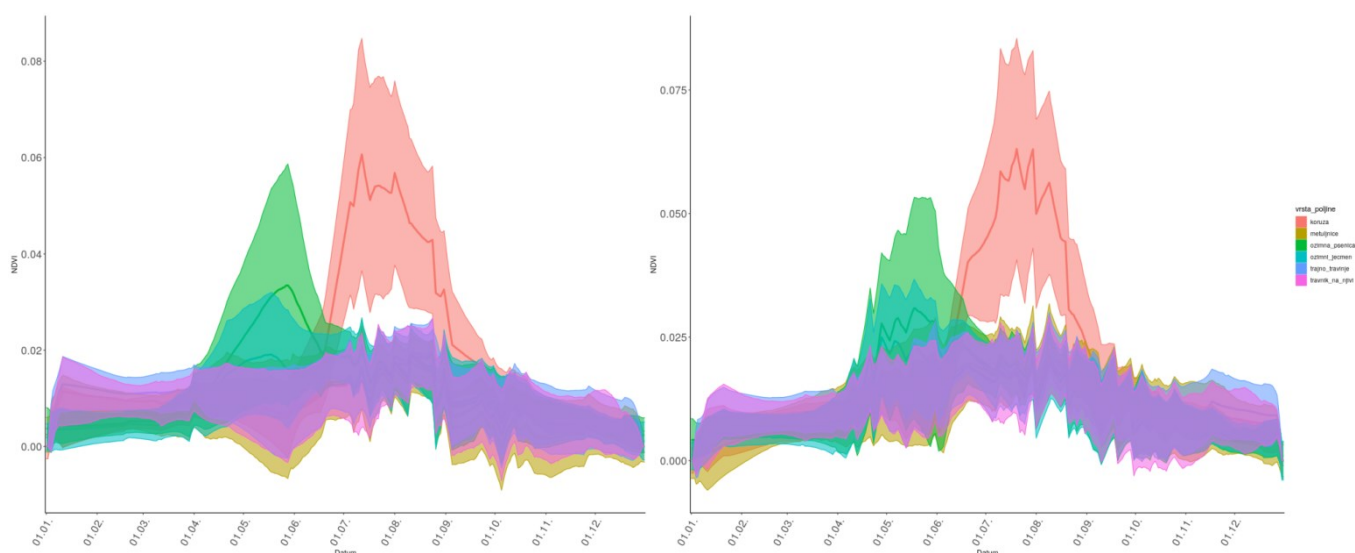
Poleg spektralnih podatkov v obliki spektralni indeksov v časovni vrsti, smo pri razvoju klasifikacijskih modelov uporabili tudi geografske in fenološke podatke. Fenološki razvoj rastlin poteka po dobro opisanih stopnjah (npr. izraščanje listov, hitra rast, stabilna površina), časovna vrsta (hitrost rasti in senescence) tega razvoja pa se razlikuje med različnimi vrstami rastlin. Variabilnost pojava posameznih fenoloških faz je povečana z različnimi datumi setve ter mikroklimatskimi razmerami. Datumi pojava fenoloških faz posameznih posevkov so zato orientacijske narave, predpostavljamo, da so na večini kmetijskih zemljišč določen posevek sejali v časovnem razponi 14 dni. Prav tako je potrebno upoštevati razlike med območji Slovenije (Preglednica 5). Fenološki podatki sami torej niso dovolj zanesljivi za ločevanje posevkov (Slika 5), v kombinaciji s spektralnimi indeksi v časovni vrsti pa lahko izboljšajo klasifikacije vrst posevkov. Na primer, indeks MCARI v primerjavi z NDVI bolj primeren za določanje metličenja koruze in ločevanje med koruso, travinji in žiti, ter deloma za določanje cvetenja žit (Slika 6).

Preglednica 5: Datumi pojava fenoloških faz koruze v letih 2017, 2018 in 2019 za tri območja Slovenije

Leto	Fenološka faza	Osrednjeslovenska	Pomurje	Dolenjska
2017	vznik	08.05.	07.05.	22.05.
	6.listov	14.06.	10.06.	17.06.
	9.listov	29.06.	25.06.	01.07.
	metličenje	13.07.	04.07.	10.07.
2018	vznik	03.05.	26.04.	05.05.
	6.listov	08.06.	26.05.	03.06.
	9.listov	26.06.	09.06.	17.06.
	metličenje	10.07.	25.06.	02.07.
2019	vznik	09.06.	03.05.	02.06.
	6.listov	03.07.	08.06.	02.07.
	9.listov	17.07.	29.06.	15.07.
	metličenje	31.07.	13.07.	27.07.



Slika 5: Povprečja in standardne deviacije indeksa NDVI v časovni vrsti za šest vrst posevkov za



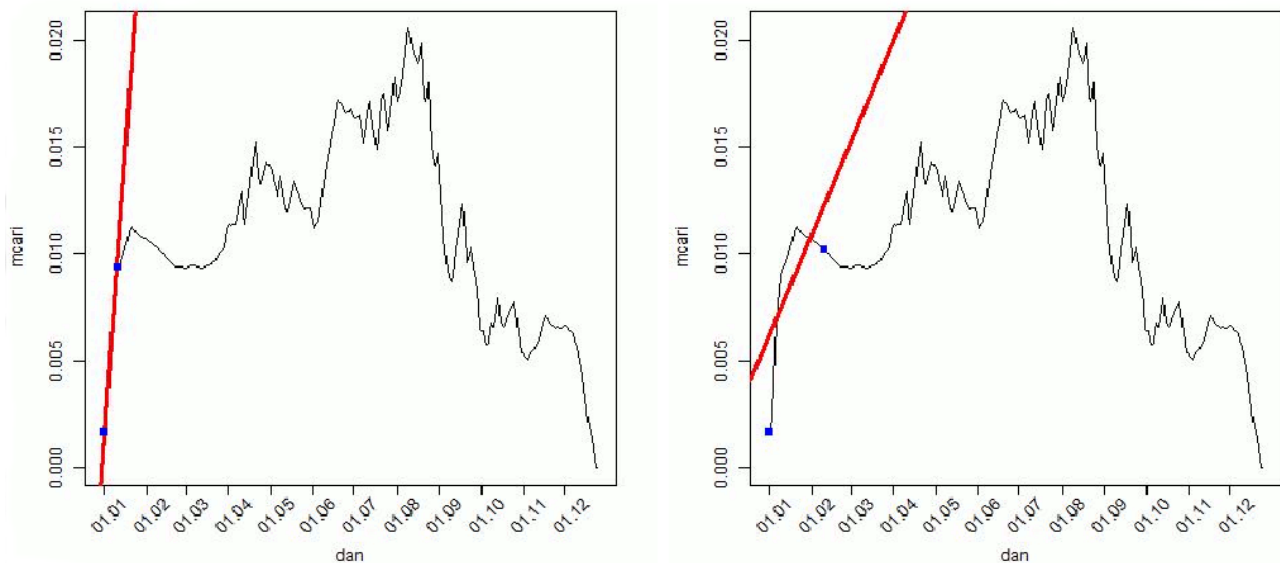
Slika 6: Povprečja in standardne deviacije indeksa MCARI v časovni vrsti za šest vrst posevkov za celotno Slovenijo. Levo leto 2017, desno leto 2018.

Za klasifikacije vrst posevka smo uporabili različne vire podatkov, s čimer smo povečali njihovo zanesljivost. Z uporabo več spektralnih indeksov, ki merijo različne fiziološke dejavnike, v časovni vrsti smo v analizah vključili številne dejavnike, ki jih posamezen indeks ignorira. Zaradi klimatskih razmer v Sloveniji in mikroklimatske pestrosti, smo vključili tudi podatke fenološkega razvoja rastlin, ter geografske podatke (t.j. pripadnost posamezne poljine enemu izmed 12 območij). Slovenijo smo razdelili v 12 območij: Dolenjska, Gorenjska, Goriška, Koroška, Notranjska, Obala_Kras, Osrednjeslovenska, Posavje, Štajerska, Zasavje, Savinjska in Prekmurje. Klasifikacijske modele smo nato razvili na vseh območjih hkrati, da smo zmanjšali verjetnost prevelikega prilaganja modelov (angl. overfitting) podatkov in povišali njihovo posploševalno sposobnost (angl. generalizability).

Avtomatsko zaznavanje košnje in oranja

Satelitski podatki v časovni vrsti omogočajo zaznavanje sprememb na kmetijskih zemljiščih na večjih območjih. Visoka frekvenca slikanja satelitov Sentinel-2 v kombinaciji s sprejemljivo spektralno ločljivostjo omogoča določanje sprememb na kmetijskih poljinah v celotni časovni vrsti. Torej je poleg neposredne primerjave posnetkov določenega območja iz dveh ali treh datumov možno spremljanje sprememb z visoko časovno ločljivostjo. Slednje je ključnega pomena za zaznavanje sprememb na kmetijskih zemljiščih v rastni sezoni, na primer za zaznavanje košnje in oranja. Za zaznavanje slednjih dejavnosti nas zanimajo kratke spremembe vrednosti indeksov. Te spremembe lahko vrednotimo razmeroma natančno s primerjavo absolutnih vrednosti indeksov od različnih datumih in poiščemo datume, ko je prišlo do dovolj velikih sprememb. Vendar je razpon vrednosti posameznega indeksa odvisen od posevka (ali v primeru travinij vrstne strukture), sorte in rastnih razmer (vpliv bioloških in okoljskih dejavnikov). Metoda primerjave absolutnih vrednosti bi torej bila najnatančnejša, če bi imeli na voljo zanesljive, večletne podatke raznih posevkov za vsako poljino. Prav tako je potrebno upoštevati, da imajo različni satelitski senzori različno postavljene spektralne pasove (različne širine in različni centri pasov, čeprav lahko imajo enaka imena, npr. Rededge ali NIR), kar bo neposredno vplivalo na absolutne vrednosti indeksov. Morebitna izjema je vegetacijski indeks normaliziranih razlik (NDVI), ki je splošno uporabi za različne namene in razmeroma dobro razumljen. Za NDVI obstaja več lestvic vrednosti, na splošno velja, da negativne vrednosti predstavljajo oblake, sneg ali vodo, pozitivne pa tla in rastline. Za slednje so značilne vrednosti nad 0,2, kar je manj nakazuje tla nepokrita z rastlinami.

Ne glede na omenjene omejitve uporabe absolutnih vrednosti, lahko z njimi določimo kratke spremembe na kmetijskih poljinah. Namesto primerjave absolutnih vrednosti in določitve mejnih vrednosti oziroma namesto da številčno ovrednotimo razliko v absolutnih vrednostih med dvema datumoma, ovrednotimo hitrost padca vrednosti. To dosežemo z izračunom linearne regresije med dvema datumoma in primerjamo dobljen naklon regresijske linije z eksperimentalno določeno mejno vrednostjo. Tak pristop je neodvisen tako od absolutnih razlik vrednosti indeksov, kot tudi od vrste indeksa (ali meri klorofil, bujnost rasti, LAI itd.). V satelitskih podatkih v časovni vrsti so vedno prisotna nihanja vrednosti, ki so posledica atmosferskih dejavnikov (npr. tankih slojev oblakov) in so torej neodvisna od dejanskega stanja na poljini. Zato je za določanje hitrih sprememb na poljinah potrebno glajenje podatkov v časovni vrsti, da se izognemo lažnim pozitivnim rezultatom. Za izračun linearnih regresij je prav tako ključnega pomena postavitve obeh skrajnih točk (t.j. datumov), saj bi preblizu postavljeni točki privedlo do lažnih pozitivnih rezultatov, preveč narazen postavljeni pa k lažnim negativnim (Slika 7).



Slika 7: Primerjava vpliva razdalje med skrajnima točkama za izračun linearne regresije. Levo: razdalja med skrajnima točkama znaša 10 dni. Desno: razdalja med točkama znaša 40 dni.

Izmed izbranih spektralnih indeksov se je za določanje vrste posevkov v časovni vrsti obnesel indeks MCARI, zato smo ga uporabili tudi za izračun regresij za določanje hitrih sprememb. Podatke v časovni vrsti smo zgladili z izračunom drsečega povprečja (širina simetričnega okna 10 dni). Ker nismo imeli na voljo podatkov o datumih košenj travinj, smo izračunali povprečne vrednosti indeksa MCARI za vsa travinja, ločeno po testnih območjih. Nato smo na dobljenih podatkih določili točki z največjim padcem vrednosti indeksa. Optimalni časovni razpon 15 dni smo določili s preizkušanjem vrednosti v razponu 10 - 30 dni. S časovnim razponom 15 dni odstranimo časovno prekratke padce vrednosti, ki so verjetno posledica atmosferskih dejavnikov. Hkrati je ta razpon dovolj kratek, da zajame padec vrednosti, pred nadaljevanjem rasti rastlin in višanjem vrednosti indeksa. Iz tako dobljenih enačb linearne regresije smo določili mejni naklon, ki nakazuje hitro spremembo vrednosti indeksa. V obdobju od 1.4. do 15.10. na ta način spremljamo pojave košnje. V celotnem letu spremljamo tudi hkratni pojav hitrih sprememb in padca indeksa NDVI pod vrednost 0,2, kar nakazuje, da na poljini ni prisotnih rastlin, kar interpretiramo kot pojav oranja. Pri pojavi oranja štejemo tudi dneve, ko je vrednost indeksa NDVI ostala med 0 in 0,2. Predpostavljamo, da traja vsaj 30 dni, preden se razvije nova rastlinska odeja in se vrednost indeksa dvigne nad 0,2. Kot pojav oranja štejemo primere, kjer je trajanje nizkih vrednosti indeksa NDVI trajalo vsaj 30 dni.

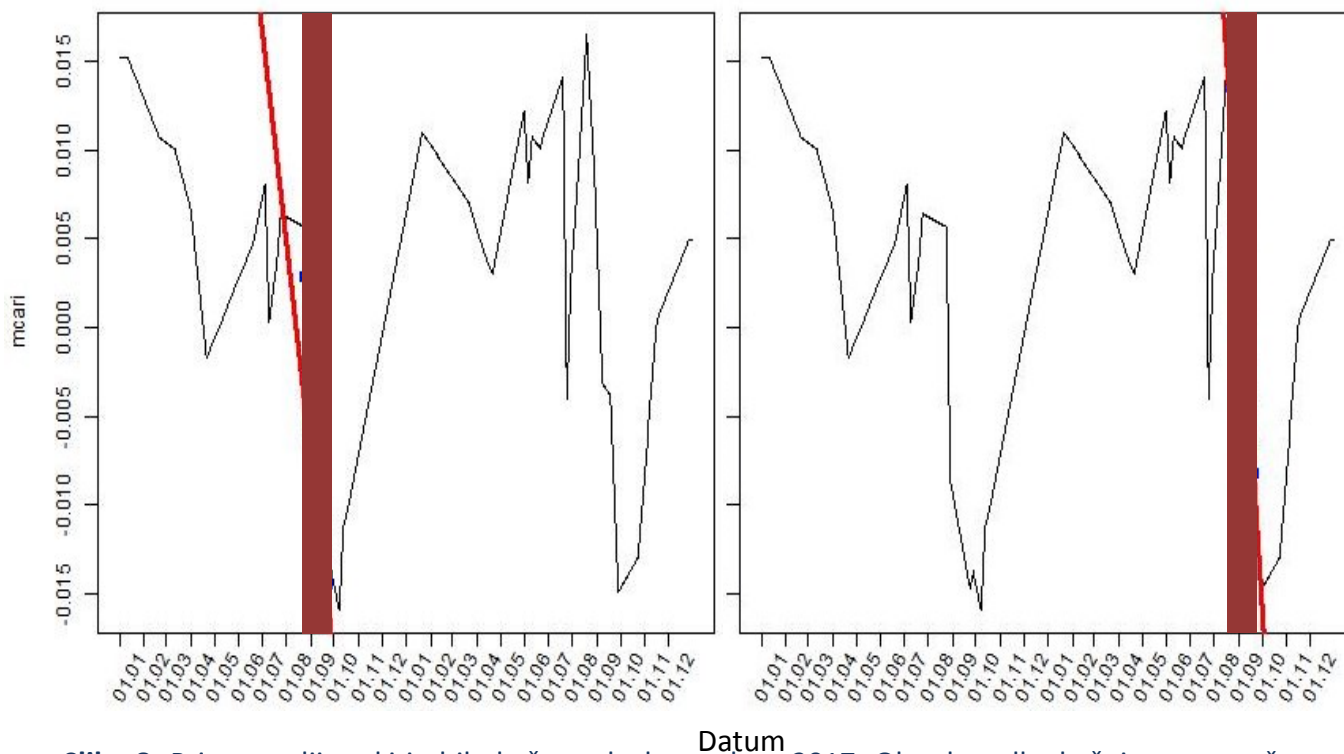
V letih 2017 in 2018 na izbranih območjih na travinjah nismo zaznali poljine, ki ne bi bila košena (Preglednica 6). V obeh letih je bila približno polovica poljin košena 3-krat, večina (t.j. več kot 90%) poljin je bila košena dva do štirikrat (Slika 8). V porazdelitvi števila košenj med letoma nismo našli statistično značilnih razlik ($\text{Chi}^2 = 1941,2$; $p > 0,05$, $\text{df} = 4$). Na večini travinj nismo zaznali oranja (Preglednica 7). Med letoma je sicer razmeroma visoka razlika v odstotku travinj v razredih 0 in <30 (število dni, ko je bil zaznan padec vrednosti indeksa MCARI in so bile vrednosti indeksa NDVI pod 0,2), vendar ta razlika ni statistično značilna ($\text{Chi}^2 = 1943,2$; $p > 0,05$, $\text{df} = 3$). V obeh letih smo zaznali oranje na približno 2,5 odstotkih poljin (Preglednica 7).

Preglednica 6: Število košenj v letih 2017 in 2018 za izbrana območja.

leto	št. košenj	št. poljin	odstotek
2017	1	170	1.02%
	2	4205	25.27%
	3	8178	49.15%
	4	3660	22.00%
	5	426	2.56%
2018	1	105	0.58%
	2	2475	13.72%
	3	10071	55.84%
	4	4949	27.44%
	5	434	2.41%

Preglednica 7: Oranje na travinjih v letih 2017 in 2018 na izbranih območjih. Razred pomeni število dni, ko so bile vrednosti indeksa NDVI pod mejo 0,2.

razred	2017	2018	2017	2018
0	10912	15315	65.58%	84.92%
<30	5384	2290	32.36%	12.70%
30	343	429	2.06%	2.38%
skupaj	16639	18034		



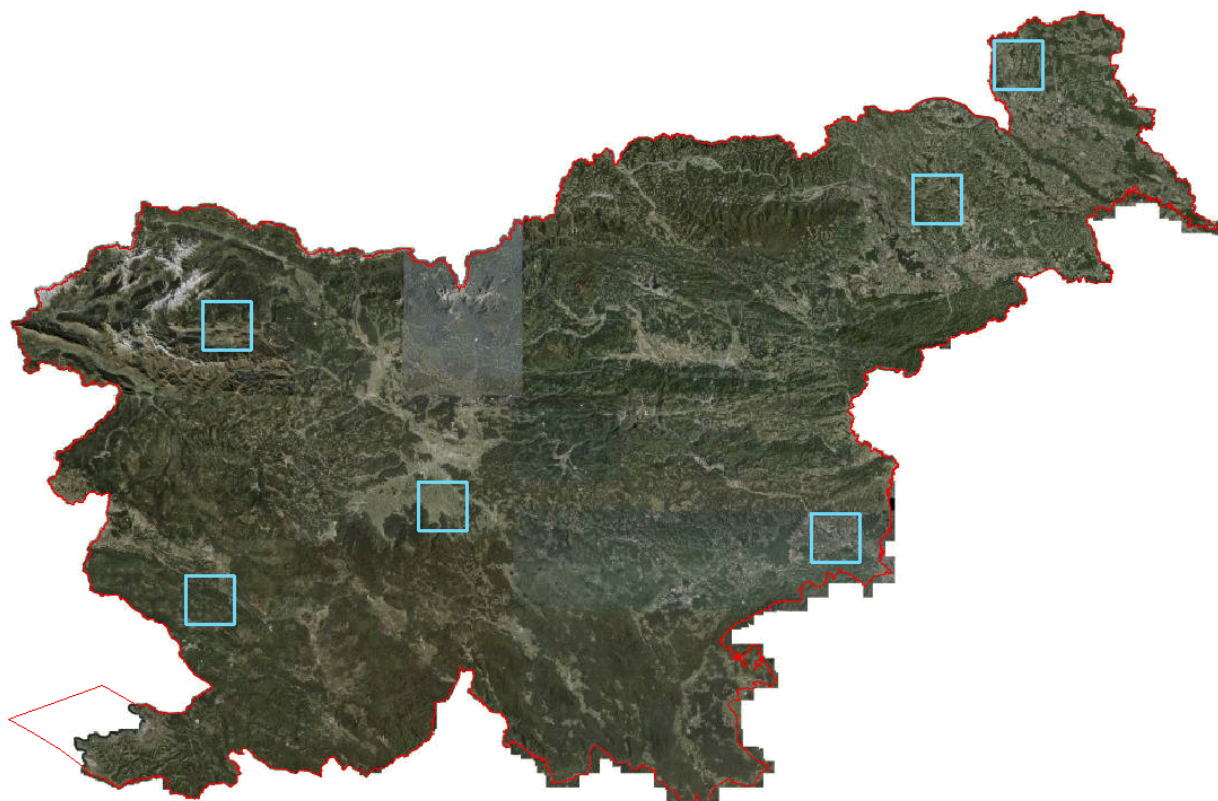
Slika 8: Primer poljine, ki je bila košena dvakrat v letu 2017. Oba dogodka košnje sta označena z rdečim poligonom. Modre točke označujejo datume, ko je bila zaznana košnja in rdeča črta predstavlja linearno regresijo skozi ti dve točki.

DS 4 Določitev testnih območij in preizkušanje izbranih algoritmov za spremljanje ukrepov SKP

Za testiranje algoritmov za spremljanje ukrepov SKP smo skupaj s predstavniki ARSKTRP in MKGP izbrali šest območij, ki odražajo pestrost pridelave in ukrepov SKP, ter posestno strukturo v Republiki Sloveniji. Pri izboru območij je bila pomembna tudi razpoložljivost podatkov. Teh šest območij odraža stanje v celotni državi, kar bo olajšalo aplikacijo algoritmov tudi na drugih območjih. Vseh šest območij je kvadratne oblike s površino 100 km² (10x10 km). Podatki so na voljo na nivoju GERK-ov in poljin (vrsta kmetijske rastline, kmetijska dejavnost, agrotehnični ukrepi, zaraščenost itd.).

Izbor območij

Izbrali smo šest območij (od Vzhoda proti Zahodu): Goričko, Lenart, Brežice, Barje, Bohinj, Kras (Slika 9). Območja so kvadratne oblike s stranicami 10x10 km, površina posameznega kvadranta je torej 100 km².



Slika 9: Izbranih šest testnih območij. Od Vzhoda proti Zahodu si sledijo Goričko, Lenart, Brežice, Barje, Bohinj in Kras.

Skupno, v obeh letih, je v kvadrantih 75069 poljin oziroma 68266 GERK-ov. Največ poljin je v kvadrantu Goričko, najmanj v Bohinju (Preglednica 8). Poljin je več kot GERK-ov, saj je lahko več kot ena poljina na istem GERK-u. V Lenartu je povprečna površina poljin največja, najmanjša v Bohinju.

Preglednica 8: Število in povprečna površina (ar) GERK-ov in Poljin za vseh šest izbranih kvadrantov.

Kvadrant	2017				2018			
	Število		Pov. površina		Število		Pov. Površina	
	Poljina	GERK	Poljina	GERK	Poljina	GERK	Poljina	GERK
Barje	8059	7640	57,0	64,9	7353	7149	56,6	62,0
Bohinj	3897	3870	39,7	39,9	3509	3502	43,1	43,3
Brežice	6737	5792	76,6	89,4	5204	4888	77,1	85,9
Goričko	12169	9623	49,7	58,7	8225	7423	5301	59,5
Kras	4822	4599	43,3	45,9	3309	3275	45,8	47,4
Lenart	6695	5778	90,4	102,8	5090	4727	93,0	102,9

Najpogostejša tipa rabe so njive in trajna travišča (identifikatorja 1100 in 1300). Njiva za rejo polžev (1150) je prisotna samo v kvadrantu Barje, oljčnik (1230) na Krasu, matičnjaki (1212) pa so prisotni samo v Brežicah in na Krasu. Med pogostejšimi rabami so tudi vinogradi (1211) in travniški oziroma ekstenzivni sadovnjaki (1222). Vse ostale vrste rabe so zastopane z manj kot 400 poljinami (Preglednica 9).

Preglednica 9: Število poljin glede na vrsto rabe zemljišča za vseh šest kvadrantov za leto 2017.

Kvadrant	Identifikator rabe zemljišč														
	1100	1131	1150	1170	1180	1190	1211	1212	1221	1222	1230	1240	1300	1320	1610
BARJE	3718	22	1	0	0	0	1	0	6	78	0	0	4226	2	5
BOHINJ	420	33	0	0	0	0	0	0	3	122	0	0	3214	105	0
BREZICE	4349	28	0	41	5	2	214	1	99	75	0	1	1915	0	7
GORICKO	8235	25	0	4	1	2	186	0	67	377	0	219	3043	2	8
KRAS	895	40	0	0	12	4	926	3	51	93	4	1	2684	99	10
LENART	3597	49	0	9	13	16	187	0	69	262	0	156	2332	2	3
Vsota	21214	197	1	54	31	24	1514	4	295	1007	4	377	17414	210	33

Zaradi izjemno velikih površine v kvadrantu Brežic največjo skupno povprečno površino zavzemajo kmetijska zemljišča v pripravi (1610), sledijo jim intenzivni sadovnjaki (1221), travinja z razpršenimi neupravičenimi značilnostmi (1320), njive (1100) in trajni travniki (1300). V kvadrantu Lenart so v povprečju največje njive, v kv. Brežice največja kmetijska zemljišča v pripravi in intenzivni sadovnjaki, na Krasu pa z gozdnim drevjem porasla kmetijska zemljišča (Preglednica 10).

Preglednica 10: Povprečne površine poljin (ar²) glede na vrsto rabe zemljišča za vseh šest kvadrantov za leto 2017.

Kvadrant	Identifikator rabe zemljišč														
	1100	1131	1150	1170	1180	1190	1211	1212	1221	1222	1230	1240	1300	1320	1610
BARJE	56.8	34.7	27	0	0	0	1	0	19.7	14.2	0	0	58.2	105.5	46.8
BOHINJ	9.1	17.8	0	0	0	0	0	0	12.3	15	0	0	43.1	92.5	0
BREZICE	85.4	46.7	0	50	19.6	3	20.8	136	178.5	13.8	0	5	60.2	0	379
GORICKO	56.8	22.8	0	14.8	36	2.5	22.4	0	56.8	21.5	0	3.7	38.9	28.5	161.4
KRAS	25	19.3	0	0	97.8	3.5	45.8	68.3	36.2	15	12.8	1	47.1	118.3	31.2
LENART	114.4	24.3	0	8.1	36.2	4.4	31.8	0	113	26.3	0	6.6	73.1	4	12.3
Vsota	347.6	165.6	27	72.8	189.7	13.4	121.8	204.3	416.5	105.7	12.8	16.3	320.6	348.8	630.7

Skupaj s podatki o prijavah smo prejeli tudi podatke o opravljenih nadzorih. Baza podatkov nadzorov nima istih postavk, kot baza podatkov oddanih prijav. Na primer, v bazi opravljenih nadzorov manjka postavka vrsta poljščine oziroma je le-ta navedena samo v povedni, t.j. opisni, obliki. Te podatke bi bilo potrebno izluščiti iz teh povedi in ustrezno urediti, da bi lahko z njimi opravljali analize.

Izbrali smo šest vrst v Sloveniji najpogostejših posevkov, ki brez trajnih nasadov pokrivajo približno 98% kmetijskih površin (Preglednica 11). Skupno je bilo v letih 2017 in 2018 s temi šestimi posevki pokritih 54203 poljin. Med njimi je največ trajnega travinja, sledita mu koruza in metuljnica ali ozimna pšenica, odvisno od leta. Med območji vrst posevka niso enakomerno razporejene, na primer v območju Bohinj izrazito prevladuje trajno travinje, podobno kot na Krasu.

Preglednica 11: Število poljin z izbranimi vrstami posevka za vsa območja in za obe leti.

	Vrsta posevka	Barje	Bohinj	Brežice	Goričko	Kras	Lenart	Skupaj
2017	Koruza	1283	17	1246	1772	26	1219	5563
	Metuljnica	341	3	393	696	85	341	1859
	Ozimna pšenica	96	0	525	992	24	410	2047
	Ozimni ječmen	184	0	465	783	39	390	1861
	Trajno travinje	3166	2449	1605	2308	2162	1851	13541
	Travnik na njivi	344	30	113	219	123	256	1085
	Skupaj	5414	2499	4347	6770	2459	4467	25956
2018	Koruza	1273	20	1220	1871	30	1402	5816
	Metuljnica	1645	1	398	566	97	342	3049
	Ozimna pšenica	97	0	614	1038	18	618	2385
	Ozimni ječmen	208	0	487	777	43	610	2125
	Trajno travinje	3221	2423	1613	2318	2180	1894	13649
	Travnik na njivi	376	35	135	262	109	306	1223
	Skupaj	6820	2479	4467	6832	2477	5172	28247
Skupaj	12234	4978	8814	13602	4936	9639	54203	

Izbor ukrepov SKP

S predstavniki MKGP in ARSKTRP smo na sestanku, dne 1.4.2019, določili zbrane ukrepe SKP, ki jih bomo spremljali v tem projektu. Poleg izbranih ukrepov smo se tudi dogovorili za nekaj dodatnih ukrepov, katere bomo testirali na manjšem vzorcu, ki je lahko tudi izven testnih območij, odvisno od razpoložljivosti podatkov.

Izbrani ukrepi SKP so:

- določitev vrste ali skupin vrst kmetijske rastline,
- minimalna aktivnost,
- košnja,
- oranje,
- zimsko varstvo tal,
- datumsko predpisana prisotnost rastlin.

Določanje vrst ali skupine vrst kmetijskih rastlin (angl. crop type) v časovni vrsti je najpomembnejši dejavnik, saj omogoča spremljanje večjega števila ukrepov oziroma zahtev (na primer minimalno aktivnost, določanje datumsko predpisanih prisotnosti določenih kmetijskih rastlin, določanje pokrovnosti). Nekaterih vrst rastlin ni možno ločiti med seboj z uporabo večspektralnih podatkov, zato jih bomo združili v ustrezne skupine (na primer žita). Ločevanje med strnišči in golo zemljo je sicer problematično, saj na strniščih praviloma ni več dovolj organskega materiala in pri spektralni ločljivosti posnetkov Sentinel 2 prevlada signal gole zemlje. Določanje mokrišč in šotišč s satelitskimi posnetki Sentinel 2 je praktično nemogoče, predvsem če so vodna telesa plitka. Vodni stolpec je preplitek in senzorji zaznajo podpise bentoške združbe, torej ne vode. Za zaznavanje vode lahko poleg posnetkov Sentinel 2, uporabimo radarske posnetke satelita Sentinel 1. Košnjo bomo spremljali v časovni vrsti, mokrišča in šotišča pa presegajo okvir tega projekta.

Testiranje spektralnih indeksov

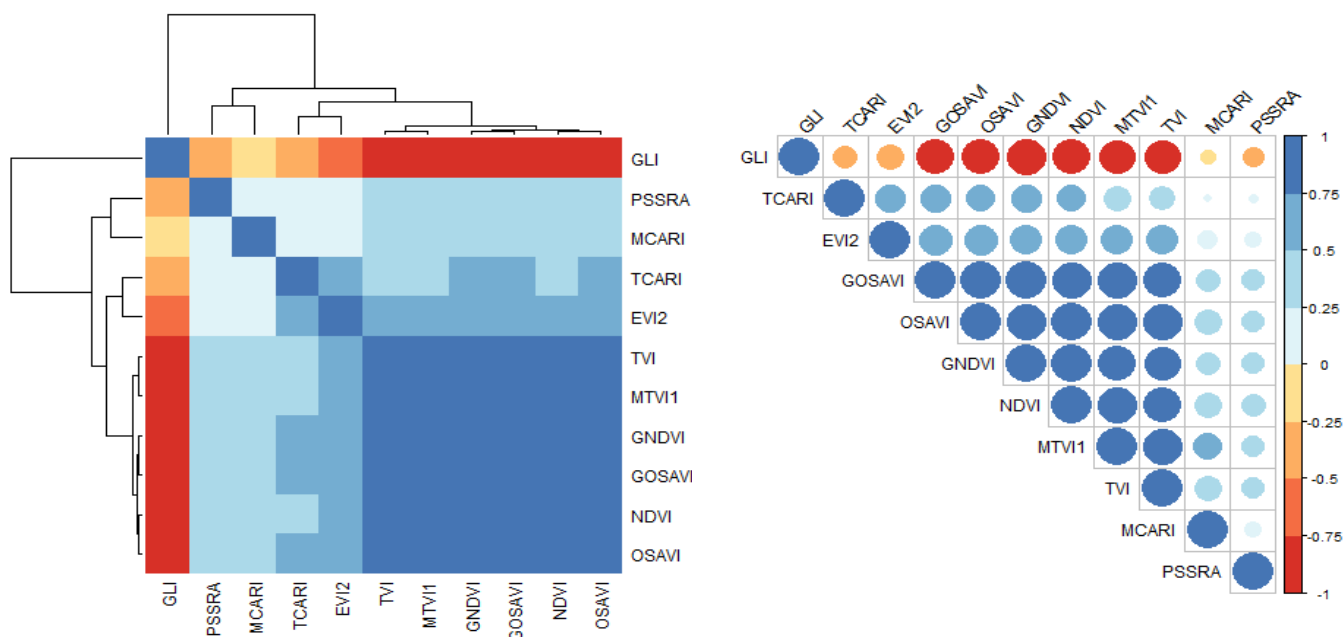
Z vsemi izbranimi indeksi v časovni vrsti smo izvedli klasifikacije vrst poljine z algoritmom odločitvenih dreves RandomForest. Med posameznimi indeksi smo dosegli najvišjo zanesljivost z indeksom MCARI (Preglednica 12). Slednji se je izkazal tudi za najbolj primerne za spremljanje fenološkega razvoja oziroma za zaznavanje razlik v fenološkem razvoju izbranih rastlin (Slika 10). Z indeksom MCARI smo nato testirali različne algoritme strojnega učenja za klasifikacijo vrst rastlin. Najboljše rezultate smo dosegli z indeksom RandomForest in nevronske mreže Multilayer Perceptron (Preglednica 13). Za razvoj klasifikacijskih modelov smo izbrali nevronske mreže, saj so odločitvena drevesa nagnjena k prevelikemu prileganju podatkom. Spektralne indekse smo združili v komponentah analize glavnih komponent za vsak dan. Ker so nekateri indeksi med seboj visoko korelirani, smo izračunali medsebojne korelacije in pri končni izbiri indeksov za analizo glavnih komponent upoštevali tudi njihovo uspešnost pri klasifikaciji vrst rastlin. Izbrali smo indekse GLI, PSSRA, MCARI, NDVI, TCARI, EVI2, TVI, GNDVI in OSAVI. Pred izračunom glavnih komponent smo vse indekse standardizirali z z-statistiko.

Preglednica 12: Rezultati klasifikacij s spektralnimi indeksi v časovni vrsti z algoritmom RandomForest. TP: true positive rate, FP: false positive rate, ROC: receiver operating curve.

Indeks	Pravilne klasifikacije	TP rate	FP rate	ROC
TVI	72%	0,721	0,056	0,948
TCARI	68,5%	0,685	0,063	0,928
PSSRA	71,77%	0,718	0,057	0,943
OSAVI	71,9%	0,719	0,056	0,942
NDVI	70,1%	0,701	0,059	0,941
MTVI1	70,15%	0,701	0,06	0,938
MCARI	73,76%	0,738	0,052	0,947
GOSAVI	71,81%	0,718	0,056	0,939
GNDVI	73,22%	0,732	0,054	0,946
GLI	72,35%	0,723	0,055	0,944
EVI2	70,9%	0,709	0,058	0,937

Preglednica 13: Uspešnost večih algoritmov strojnega učenja pri ločevanju vrst rastlin z uporabi indeksa MCARI v časovni vrsti. TP: true positive rate, FP: false positive rate, ROC: receiver operating curve.

Algoritem	Pravilne klasifikacije	TP rate	FP rate	ROC
SMO	81,26%	0,813	0,094	0,907
SVM	84%	0,84	0,081	0,88
DI4jMlp	80,1%	0,801	0,1	0,933
RandomForest	89,6%	0,893	0,054	0,978
RF PCA indeksi	67,7%	0,677	0,638	0,676
RF PCA dnevi	74,41%	0,744	0,144	0,926
MPerceptron	88,9%	0,889	0,056	0,964



Slika 10: Pearsonove korelacije med spektralnimi indeksi.

Klasifikacijske modele smo razvili z uporabo usmerjene umetne nevronske mreže imenovane večplastni perceptron (angl. multilayer perceptron – MLP). Zanj je značilno več plasti vhodnih vozlišč, povezanih kot usmerjen graf med vhodno in izhodno plastjo. Za usposabljanje omrežja pa uporablja povratno širjenje (angl. backpropagation), ki omogoča, da se program strojnega učenja prilagodi glede na preteklo funkcijo. Pri uporabi MLP je potrebno za doseg najboljših rezultatov optimizirati več nastavitev (na primer število skritih slojev). Žal ni zlatega pravila, katere nastavitve bodo dale najboljše rezultate, zato smo postopek treniranja in validacije modelov večkrat ponovili, da smo našli optimalne nastavitve. Podatke smo razdelili v dve skupini: 66% podatkov smo uporabili za treniranje algoritmov in 34% za validacijo.

Najprej smo razvili metode za ločevanje vseh šestih vrst posevkov, kjer smo dosegli povprečno uspešnost 81% (Preglednica 14). Najvišjo uspešnost pravih klasifikacij smo dosegli pri trajnem travinju in koruzi (obe nad 0.9), najnižjo pri travnikih na njivi (0.89). Ločevanje ozimne pšenice in ozimnega ječmena med seboj je nezanesljivo, prav tako je nezanesljivo ločevanje med vsem tremi vrstami travinj. Na primer, večina travnikov na njivi je bilo uvrščenih med trajna travinja. Razmeroma veliko poljin s koruzo je bilo uvrščeno med metuljnice. Ta rezultat je bil že nakazan pri primerjavi vrednosti indeksov v časovni vrsti, kjer sta distribuciji vrednosti koruze in metuljnic kazali podoben časovni trend in delno prekrivanje v času metličenja. Ječmen in pšenica prav tako rasteta zelo podobno, na travinjah pa je prisotna visoka diverziteteta vrst in je ločevanja tako praktično nemogoče. Zato smo vrste posevkov oziroma rastlin združili v tri nove razrede: (1) koruza, (2) travinje (vse tri skupine travinj) in (3) žita (pšenica in ječmen). S tako združenimi podatki smo zvišali uspešnost klasifikacij na 92,74% (Preglednica 15). Uspešnost klasifikacij je bila najnižja pri žitih (0.84), približno 10% procentov jih je bilo napačno uvrščenih med koruzo in približno 6% med žita. Z uporabo podatkov fenofaz rastlin smo zanesljivost povišali na 94,29% (Preglednica 16). Z uporabo fenoloških podatkov rastlin smo zvišali uspešnost ločevanja med žiti in travinji ter koruzo. Ker so podatki povezani s podatki KMG-MID in identifikatorji poljin, lahko rezultate prikažemo v obliki kart klasifikacij (Slika 11, Slika 12, Slika 13).

Preglednica 14: Rezultati klasifikacije šestih vrst rastlin. Leva stran Preglednica kaže matriko zmede. TP: true positive rate, FP: false positive rate, ROC: receiver operating curve.

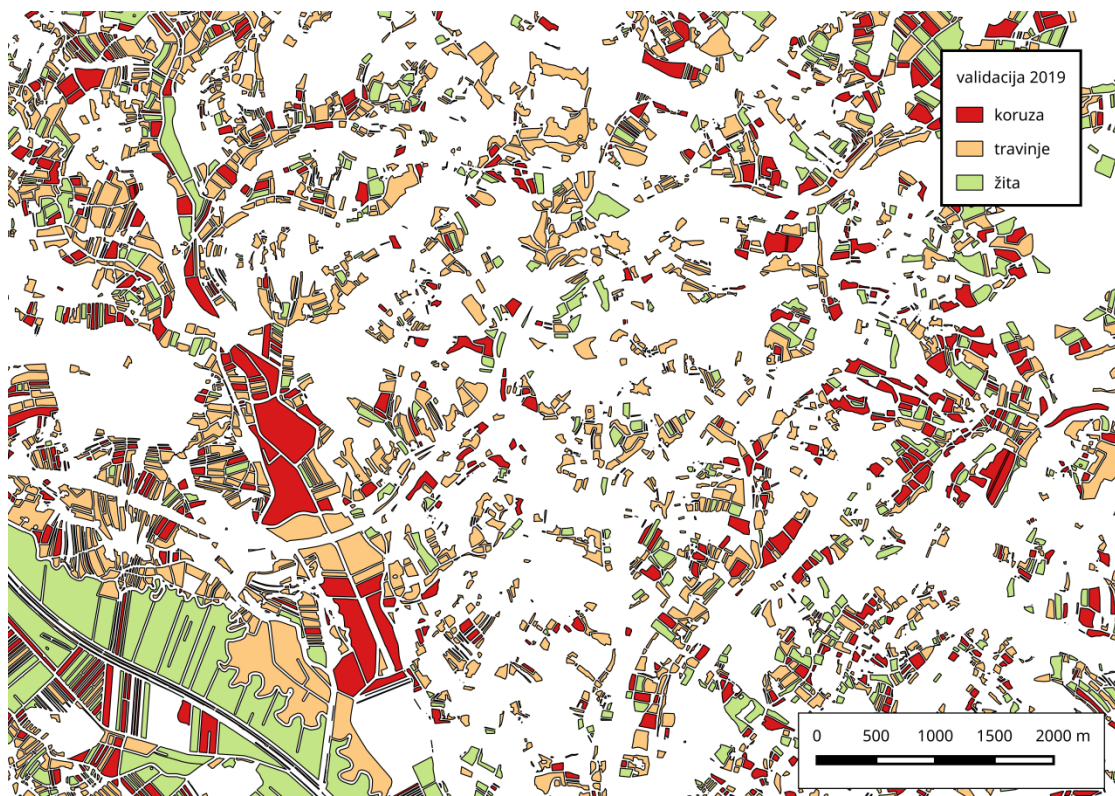
Dejansko	Klasificirano kot						TP rate	FP rate	ROC
	koruza	metuljnice	pšenica	ječmen	trajno travinje	travnik na njivi			
koruza	9562	644	43	47	147	17	0.914	0.054	0.981
metuljnice	845	2325	377	290	1095	54	0.466	0.027	0.92
pšenica	741	141	2711	919	159	11	0.579	0.026	0.946
ječmen	495	143	758	2770	197	25	0.631	0.029	0.951
trajno travinje	137	158	53	104	26790	39	0.982	0.122	0.973
travnik na njivi	124	240	46	103	1678	215	0.089	0.003	0.799

Preglednica 15: Rezultati klasifikacij vrst rastlin združenih v tri razrede.

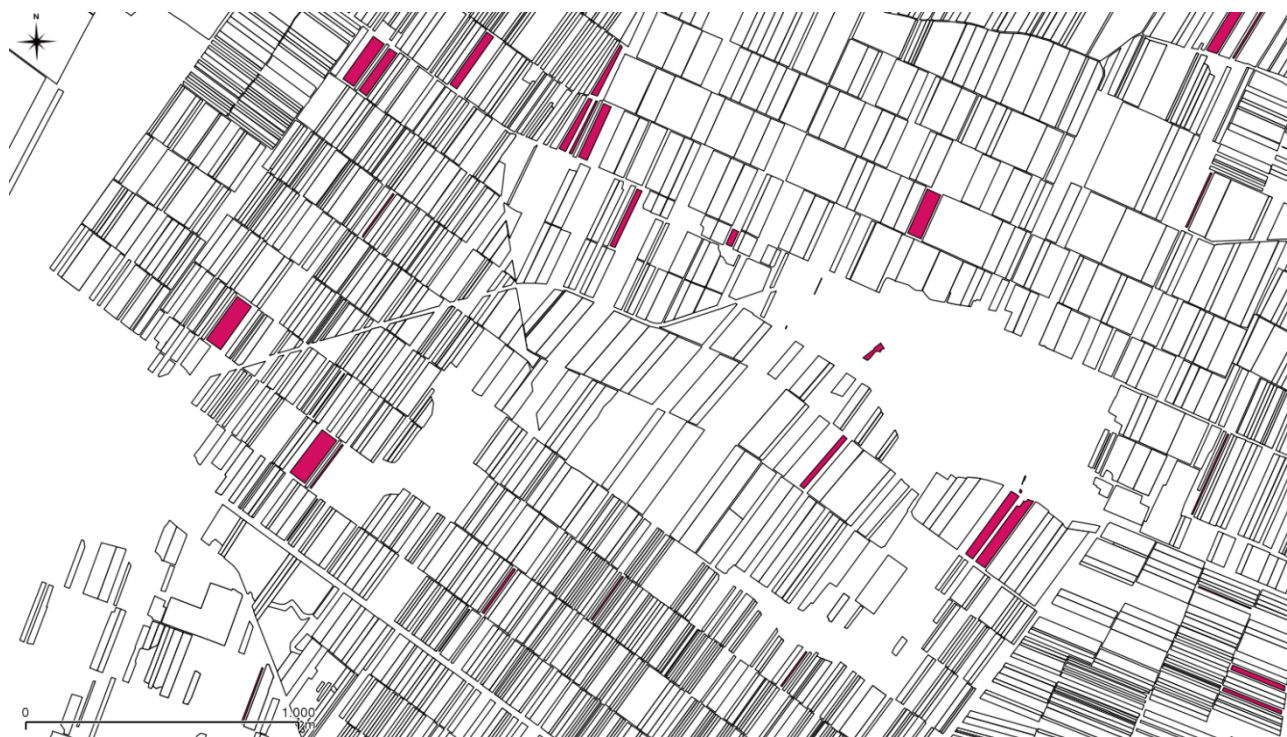
Dejansko	Klasificirano kot			Sensitivity	Specificity	Pos Pred Value	Neg Pred Value	Balanced Accuracy
	Koruza	Travinje	Žita					
Koruza	9569	802	175	0.845	0.977	0.907	0.96	0.911
Travinje	881	33067	680	0.962	0.921	0.955	0.932	0.941
Žita	879	520	7630	0.899	0.969	0.845	0.981	0.934

Preglednica 16: Rezultati klasifikacij vrst rastlin združenih v tri razrede ob upoštevanju podatkov fenološkega razvoja rastlin.

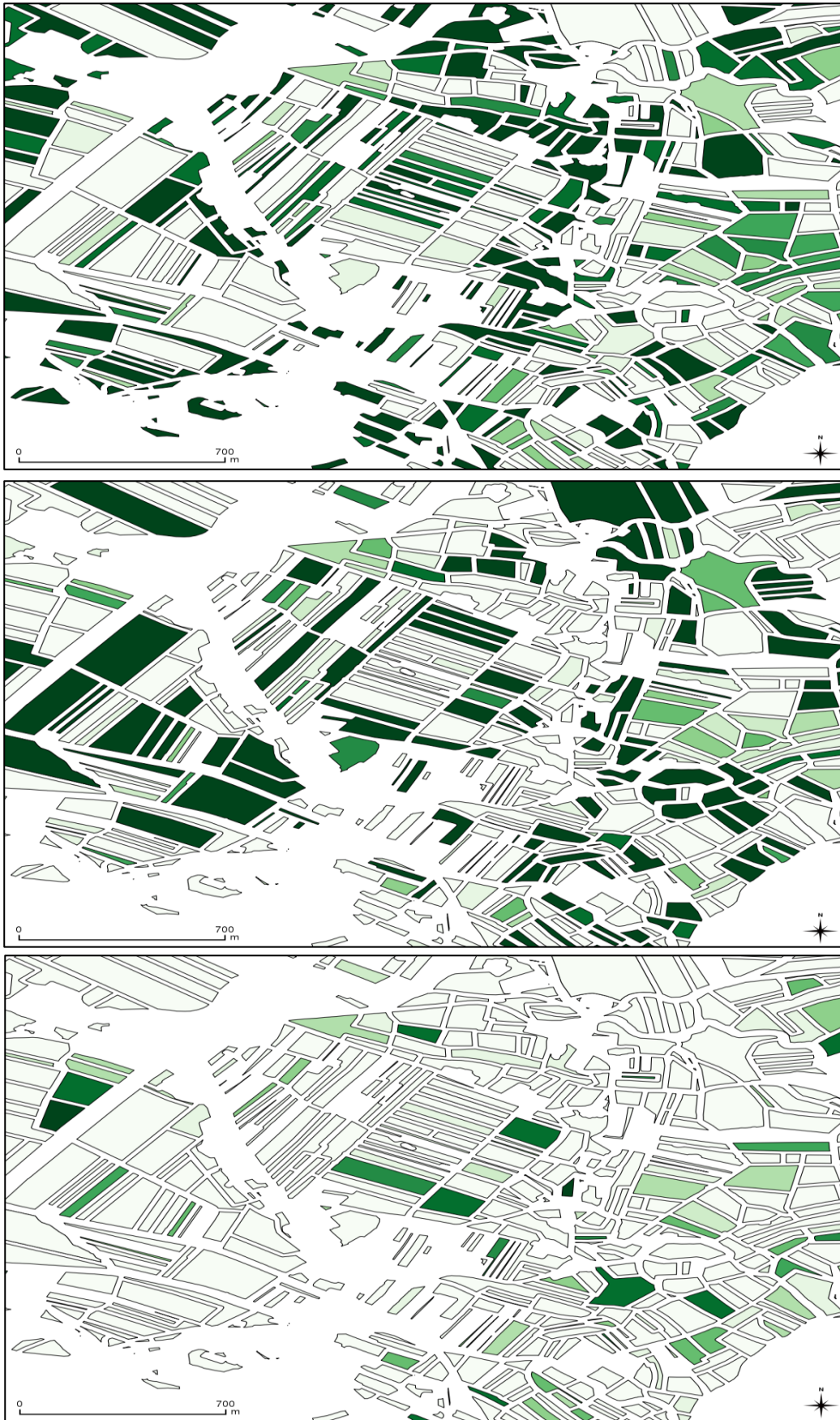
Dejansko	Klasificirano kot			Sensitivity	Specificity	Pos Pred Value	Neg Pred Value	Balanced Accuracy
	Koruza	Travinje	Žita					
Koruza	9837	525	184	0.962	0.88	0.914	0.963	0.936
Travinje	744	33204	680	0.971	0.975	0.953	0.9372	0.957
Žita	558	405	8066	0.89	0.902	0.849	0.985	0.966



Slika 11: Karta z rezultati klasifikacij treh razredov rastlin z upoštevanjem fenofaz.



Slika 12: Karta napačno klasificiranih poljin z žiti. Beli poligoni so poljine z žiti (po podatkih iz zbirnih vlog), rdeče barve pa poljine, ki jih je algoritem napačno uvrstil med žita.



Slika 13: Karte verjetnosti prisotnosti posamezne vrste rastlin. Rezultat klasifikacij za vsako poljino je verjetnost prisotnosti za vse vključene vrste rastlin. Temnejše barve predstavljajo višjo verjetnost. Zgoraj: travinje; Sredina: koruza; Spodaj: žita.

DS 5 Uporaba visoko ločljivih multispektralnih satelitskih posnetkov in delno tudi letalskega hiperspektralnega slikanja testnih območij ter njihova analiza

Ena glavnih hib satelitov konstelacije Sentinel 2 je razmeroma slaba prostorska ločljivost (najmanj 10 m pri pasov v vidnem in bližnje-infrardečem delu spektra). Prav tako so prisotne luknje v časovnem zaporedju posnetkov, ali zaradi vremenskih razmer, ali težav pri prenosu podatkov. Tovrstne luknje lahko zakrpamo z uporabo podatkov drugih satelitov, na primer komercialnih WorldView 2 in GeoEye. Ta satelita imata boljšo prostorsko ločljivost (v vidnem in NIR delu 2,5 m), torej z njima dobimo za isto poljino več podatkov, ob upoštevanju striktnega načela uporabe smo tistih rastrskih celic, ki so v celoti znotraj poljine. Prostorsko in spektralno še natančnejše podatke bi lahko dobili z letalskim hiperspektralnim snemanjem ali z brezpilotnimi letalniki.

Podatki konstelacije Sentinel so prosto na voljo in se jih hrani dalj časa v namenskih podatkovnih zbirkah, torej so na voljo tudi arhivski podatki. Podatki WorldView in GeoEye pa so komercialni in so na voljo samo za območja, kjer jih ne kdo naročil, arhiv za celoten svet ne obstaja. Zaradi te omejitve smo za testiranje drugih virov satelitskih podatkov izbrali območje Kras, kjer je bilo na voljo največ posnetkov WorldView-2 in GeoEye. Te posnetke smo obdelali po enakem postopku, kot posnetke Sentinel (ob upoštevanju lastnosti senzorjev WorldView, na primer za izračun radianc), ter podatke preračunali na svetlobni odboj na dnu atmosfere. Ker je bilo posnetkov WorldView + GeoEye premalo za celotno časovno vrsto, smo jih združili s podatki s podatki Sentinel. Podatke WorldView in GeoEye smo torej uporabili za dopolnjevanje podatkov Sentinel. Zaradi razmeroma visokih cen podatkov WorldView, je to tudi realna uporaba teh posnetkov, saj bi bila nabava komercialnih posnetkov v celotni časovni vrsti, torej za celotno leto, predraga.

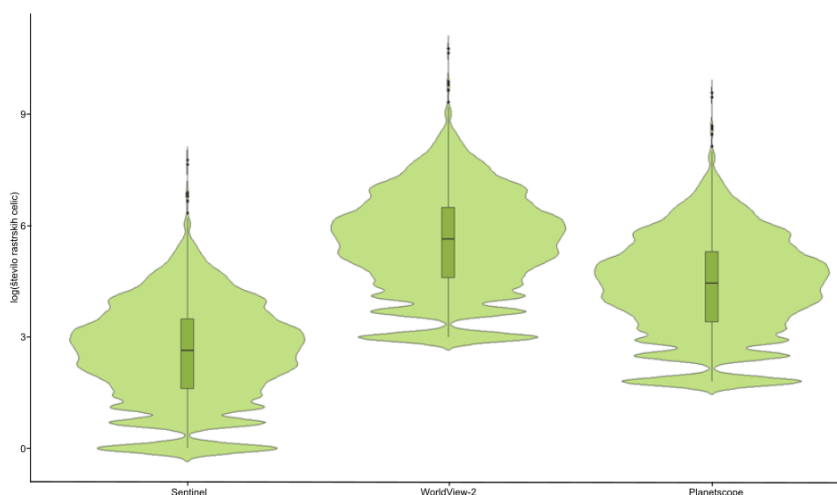
Zaradi visoke prostorske ločljivosti posnetkov drugih satelitov, smo na isti poljini prejeli 20x več podatkov rastrskih celic, kot ob uporabi Sentinel 2. Ker je na satelitu WorldView nameščen tudi pankromatski senzor, je možno s postopkom pankromatskega ostrenja povišati ločljivost multispektralnih posnetkov na 0,5m. V projektu smo načrtovali tudi uporabo letalskega hiperspektralnega slikanja in multispektralnega slikanja z brezpilotnim letalnikom. S tema dvema sistemoma bi prejeli veliko bolj natančne podatke, s katerimi bi dosegli boljše ločevanje vrst posevkov, kot tudi natančnejše določevanje sprememb na poljinah. Zaradi resne poškodbe brezpilotnega letalnika in kamere na njem, je bil ta sistem celotno leto 2019 na popravilu in ga nismo mogli uporabljati. Hkrati je operater za letalsko snemanje zamenjal letalo, v katerem smo ugotovili resne težave z ozemljitvijo električne napeljave, zaradi česar ni deloval sistem za pozicioniranje letala. Ta sistem je ključnega pomena za delovanje hiperspektralnega sistema, tako da tudi tega nismo mogli izvesti. Po predlogu vsebinskih spremljevalk smo vključili druge satelitske podatke, s katerimi smo nadomestili hiperspektralne. Pridobili smo dostop do posnetkov konstelacije PlanetScope, z visoko časovno in prostorsko ločljivostjo, vendar s samo štirimi spektralnimi pasovi. Konstelacijo PlanetScope sestavlja 120 majhnih satelitov s podobno osnovno, t.j. pred pankromatskih ostrenjem, prostorsko ločljivostjo, kot WorldView-2/Geoeye. Glavna prednost teh posnetkov za ta projekt je razpoložljivost arhivskih posnetkov za vse dni v letu. Komercialni sateliti torej omogočajo zajem izrazito večjega števila rastrskih celic (Preglednica 17, Slika 14). Glavna hiba satelitov konstelacije PlanetScope je njihova majhnost, saj vsak posamezen satelit zajema podatke z razmeroma majhna površine, v primerjavi s Sentinel-2 in WorldView-2/Geoeye. Tako je tudi za majhna območja, na primer 10x10 km, potrebno sestavljanje večih rastrskih slik. Na primer, za območje Kras ni bilo na voljo nobenega posnetka, ki bi območje v celoti zajel. Število posameznih posnetkov za območje je bilo med 2 in 9 za en dan. Vsi posnetki niso bili narejeni ob istem času, ampak razporejeni čez posamezen dan. Točen čas zajema satelitskih podatkov vpliva na spektralni odziv, saj je svetlobni odboj, kot ga meri satelit, odvisen od pozicije

sonca in senzorja glede na zemeljsko površje ter atmosferskih razmer, ki se dnevno spreminjajo (na primer zaradi močnejše evapotranspiracije poleti ali fosilnih goriv v ogrevalni sezoni). Natančen vpliv te dodatne časovne komponente še ni dovolj dobro raziskan. Pri prevzemu satelitskih posnetkov smo dodali kriterij števila posameznih posnetkov za eno območje v enem dnevu. Izbirali smo dneve s čim manj posnetki, največ štirimi za posamezen dan.

Ob uporabi podatkov satelitov WorldView-2/GeoEye in Planetscope smo malenkost izboljšali uspešnost klasifikacij, iz 90,8% na 91,73% (Preglednica 18 in 19). S podatki konstelacije Planetscope smo dosegli podobno zanesljivost (91,5%), kot ob hkratni uporabi Sentinel-2 in WorldView-2/Geoeye podatkov (Preglednica 20). Pri klasifikacijah so manjše razlike, ki so verjetno posledica časovne neskladnosti zajema posnetkov Planetscope in razlik v postavitvi spektralnih pasov. Pri zaznavanju sprememb na zemljiščih nismo opazili sprememb med viri podatkov (Preglednica 21 in 22). Vse tri konstelacije nimajo postavljenih spektralnih pasov na popolnoma istih valovnih dolžinah, zato lahko pride do razlik v vrednosti svetlobnega odboja. Vendar rezultati kažejo, da so modeli razviti na podatkih Sentinel-2 dovolj robustni in jih lahko uporabimo na drugih satelitskih senzorjih.

Preglednica 17: Primerjava števila rastrskih celic na isti poljini med sateliti Sentinel-2, WorldView-2 in Planetscope.

	Sentinel-2	WorldView-2	Planetscope
Najmanjša vrednost	1	20	3
Prvi kvartil	5	100	15
Mediana	14	280	42
Povprečje	30,43	608,5	91,3
Tretji kvartil	33	660	99
Največja vrednost	2386	42720	7158



Slika 14: Frekvenčna distribucija števila rastrskih celic poljin za satelite Sentinel-2, WorldView-2 in Planetscope. Znotraj vsake violine je tudi box-plot, ki prikazuje mediano ter 1. in 3. kvartil. Y os je logaritmira. Distribucije podatkov so enake, vendar je pri Planetscope 3x in pri WorldView-2 20x več rastrskih celic, kot pri Sentinel-2.

Preglednica 18: Rezultati klasifikacije rastlin na Krasu z uporabo podatkov Sentinel.

Dejansko	Klasificirano kot			Sensitivity	Specificity	Pos Pred Value	Neg Pred Value	Balanced Accuracy
	Koruza	Travinje	Žita					
Koruza	41	1	1	0.854	0.999	0.953	0.999	0.927
Travinje	7	4773	22	0.998	0.812	0.994	0.933	0.905
Žita	0	8	83	0.783	0.998	0.912	0.995	0.891

Preglednica 19: Rezultati klasifikacije rastlin na Krasu z uporabo podatkov Sentinel in WorldView + GeoEye.

Dejansko	Klasificirano kot			Sensitivity	Specificity	Pos Pred Value	Neg Pred Value	Balanced Accuracy
	Koruza	Travinje	Žita					
Koruza	42	1	1	0.875	0.999	0.954	0.999	0.937
Travinje	6	4773	20	0.998	0.831	0.995	0.934	0.915
Žita	0	8	85	0.802	0.998	0.914	0.996	0.900

Preglednica 20: Rezultati klasifikacije rastlin na Krasu z uporabo podatkov PlanetScope.

Dejansko	Klasificirano kot			Sensitivity	Specificity	Pos Pred Value	Neg Pred Value	Balanced Accuracy
	Koruza	Travinje	Žita					
Koruza	41	2	1	0.865	0.999	0.953	0.999	0.933
Travinje	6	4775	18	0.998	0.828	0.996	0.935	0.917
Žita	0	9	84	0.80	0.998	0.913	0.996	0.896

Preglednica 21: Primerjava števila košenj na Krasu, ob ločeni uporabi Sentinel podatkov in skupaj s podatki WorldView in GeoEye, ter PlanetScope.

št. košenj	Sentinel		Sentinel + WorldView + GeoEye		PlanetScope	
	št. poljin	odstotek	št. poljin	odstotek	št. poljin	odstotek
0	75	1.52%	75	1.52%	75	1.52%
1	1376	27.88%	1376	27.88%	1376	27.88%
2	2230	45.18%	2230	45.18%	2230	45.18%
3	1254	25.41%	1254	25.41%	1254	25.41%
4	1	0.02%	1	0.02%	1	0.02%
5	75	1.52%	75	1.52%	75	1.52%

Preglednica 22: Primerjava rezultatov zaznavanje primerov oranje na travinjah na Krasu, ob ločeni uporabi Sentinel podatkov in skupaj s podatki WorldView in GeoEye, ter PlanetScope. Razred pomeni število dni, ko so bile vrednosti indeksa NDVI pod mejo 0,2. Razred 0: 0 dni, 1: 1-29 dni, 2: več kot 30 dni.

razred	Sentinel		Sentinel + WorldView + GeoEye		PlanetScope	
	vse poljine	travinje	vse poljine	travinje	vse poljine	travinje
0	4729	95.81%	4729	95.81%	4729	95.81%
1	195	3.95%	195	3.95%	195	3.95%
2	12	0.24%	12	0.24%	12	0.24%

je določevanje vrste posevka s hkratno uporabo satelitskih, fenoloških in geografskih podatkov razmeroma zanesljivo.

Preglednica 23: Rezultati validacije klasifikacij za leto 2019 brez upoštevanja fenofaz.

Dejansko	Klasificirano kot			Sensitivity	Specificity	Pos Pred Value	Neg Pred Value	Balanced Accuracy
	Koruza	Travinje	Žita					
Koruza	54692	16612	16774	0.8810	0.9453	0.7372	0.9785	0.9131
Travinje	10654	243645	10167	0.9309	0.9612	0.9836	0.8475	0.9460
Žita	12493	17761	46920	0.7930	0.9562	0.7423	0.9667	0.8746

Preglednica 24: Rezultati validacije klasifikacij za leto 2019 z upoštevanjem fenofaz.

Dejansko	Klasificirano kot			Sensitivity	Specificity	Pos Pred Value	Neg Pred Value	Balanced Accuracy
	Koruza	Travinje	Žita					
Koruza	55104	3576	3756	0,865	0,980	0,883	0,977	0,923
Travinje	1523	304687	3609	0,977	0,957	0,983	0,941	0,967
Žita	7045	3459	46960	0,864	0,972	0,817	0,980	0,918

Testirali smo tudi metodo za detekcijo sprememb na celotnem območju Slovenije. Med tem ko v letih 2017 in 2018 nismo zaznali poljin, ki niso bile košene, je bilo takšnih v letu 2019 3737, kar je 0,9% vseh poljin (Preglednica 25). Večino poljin so kosili dva do štirikrat (91,6%). Oranje v zimskem času smo zaznali pri 17.621 poljinah (4,11%), od teh 3.202 na travinju (1,04%). Te poljine niso bile pokrite z rastlinsko odejo najmanj 30 dni (Preglednica 26).

Preglednica 25: Število košenj za celotno Slovenijo v letu 2019.

	št. košenj	št. poljin	odstotek
	0	3737	0.9%
	1	11314	2.6%
	2	69216	16.2%
	3	174742	40.8%
	4	148268	34.6%
	5	21151	4.9%
	6	56	0.0%

Preglednica 26: Oranje na poljinah v letu 2019. Rezultati so razdeljeni v razrede, glede na število dni, ko so bile vrednosti indeksa NDVI pod mejo 0,2. Razred 0: 0 dni, 1: 1-29 dni, 2: več kot 30 dni.

razred	Število poljin		Odstotek	
	vse poljine	travinje	vse poljine	travinje
0	381974	294065	89.15%	95.21%
1	28889	11578	6.74%	3.75%
2	17621	3202	4.11%	1.04%

DS 7 Komunikacija z naročnikom oziroma uporabniki

V začetku novembra, 9.11.2018, smo na KIS pripravili začetni sestanek med AKTRP, MKGP, KIS in Sinergise. Na sestanku smo predstavili program dela s časovnico projekta in se dogovorili o izboru območij in ukrepov SKP, ki jih bomo v projektu testirali (podrobnosti so v DS4). Hkrati z dogovorom poteka sprotne komunikacija med vsebinskima spremljevalkama in izvajalci projekta. Uroš Žibrat in Matej Knapič sta se udeležila konference MARS (Monitoring Agricultural Resources) v Dubrovniku, ki jo je organiziral Joint Research Centre (JRC) Evropske komisije skupaj s hrvaško plačilno agencijo. Na konferenci so potekali pogovori o monitoringu ukrepov skupne kmetijske politike z uporabo metod daljinskega zaznavanja, predvsem z uporabo posnetkov satelitov Sentinel. Projekt smo predstavili predstavnikom ZRSVN na sestanku, dne 20.2.2019. Spletna stran projekta je objavljena na naslovu http://www.kis.si/Ciljni_raziskovalni_programi_CRP/Projekt_V4-1811/

V okviru projekta je bila 26. aprila 2019 organizirana predstavitev sistema Sentinel, platforme Sentinel hub in odprtokodne zasnove za analize podatkov daljinskega zaznavanja oziroma potenciala, ki ga nudi orodje EO-learn, ki so ga zasnovali v podjetju Sinergise d.o.o. Predstavitev je podal Grega Milčinski, Sinergise d.o.o. Predstavitev so se udeležili predstavniki ARSKTRP in MKGP, ki so tvorno sodelovali v diskusiji, ki je sledila predstavitvi.

Na mednarodnem kmetijskem sejmu AGRA 2019 je bil organiziran posvet z naslovom »Raba satelitskih posnetkov v kmetijstvu – priložnosti in spremembe«, ki sta ga organizirala MKGP in predstavništvo evropske komisije v Slovenije. Na posvetu je projekt predstavil dr. Uroš Žibrat. Osnoven namen in značilnosti projekta so povzeli različni mediji, med ostalim je bil predstavljen v okviru oddaje Ljudje in zemlja. Prispevek je dostopen na internetnem naslovu <https://4d.rtvsllo.si/arhiv/ljudje-in-zemlja/174635273>. O tem dogodku so poročali tudi v drugih medijih: <https://ptujinfo.com/novica/politika-gospodarstvo/foto-satelitski-posnetki-pomagajo-kmetom-ter-izboljsujejo-njihovo>.

V začetku leta 2020, 14.januarja, smo na KIS organizirali predstavitev rezultatov projekta. Delavnico o uporabi sistema za določanje posevkov in sprememb ter spletne platforme za prikaz rezultat smo izvedli 26.10.2020 z uporabo spletne platforme ZOOM. Delavnice se je udeležilo 28 interesentov z MKGP in ARSKTRP.