

ANALIZA ČASOVNIH VRST SENTINEL-2 IN PLANETSCOPE ZA DETEKCIJO KOŠENJ NA PRESIHAJOČEM CERKNIŠKEM JEZERU (2017–2023)

Ana Potočnik Buhvald, dr. Krištof Oštir

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

ana.potocnik-buhvald@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6662-1999>

kristof.ostir@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4887-7798>

Rudi Kraševc, Tomaž Jančar

Notranjski regijski park

rudi.krasevec@notranjski-park.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5688-4178>

tomaz.jancar@notranjski-park.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4594-8830>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_13

UDK: 528.83:631.552(285.2Cerkniško jezero) "2017/2023"

IZVLEČEK

Analiza časovnih vrst Sentinel-2 in PlanetScope za detekcijo košenj na presihajočem Cerkniškem jezeru (2017–2023)

Prispevek prikazuje metodo za detekcijo košenj na presihajočem Cerkniškem jezeru v obdobju 2017–2023 s časovnimi vrstami optičnih satelitskih posnetkov Sentinel-2 in PlanetScope. Metoda temelji na piksel-ski analizi sprememb (angleško change detection) normaliziranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI) v kombinaciji z normaliziranim diferencialnim vodnim indeksom (NDWI). V prispevku smo za vsako posamezno leto izdelali sloj pokošenosti presihajočega jezera, za leto 2021 pa rezultate ovrednotili s terenskimi podatki Notranjskega regijskega parka (NRP). Ujemanje rezultatov (80–90 %) kaže na zanesljivost metode, ki se lahko v bodoče uporabi za potrebe določevanja smernic nadaljnega upravljanja NRP oziroma za zaznavanje košenj v podobnih okoljih, kjer je občasno prisotna voda, na primer na Ljubljanskem barju.

KLJUČNE BESEDE

časovne vrste satelitskih posnetkov, Sentinel-2, PlanetScope, Cerkniško jezero, detekcija sprememb, košnja

ABSTRACT

Time series analysis of Sentinel-2 and PlanetScope for detection of mowing on the intermittent Lake Cerknica (2017–2023)

The paper presents a method for detecting mowing in the intermittent Lake Cerknica in the period 2017–2023 using optical satellite imagery time series from Sentinel-2 and PlanetScope. The method is based on a pixel-based change detection analysis of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) in combination with the Normalised Difference Water Index (NDWI). In this paper, we computed data on mowing of the intermittent lake for each analysed year and validated the results with field inventories of the Notranjska Regional Park (NRP) for the year 2021. The agreement of the results (80–90%) indicates the reliability of the method, which can be used in the future to establish guidelines for further management of the NRP or to detect mowing in similar environments where water is present part of the time, such as the Ljubljana Marsh.

KEY WORDS

satellite image time series, Sentinel-2, PlanetScope, Lake Cerknica, change detection, mowing

1 Uvod

Košnja, s katero zaviramo ekološko sukcesijo, ki je usmerjena proti gozdu, je eden izmed načinov upravljanja s travišči. Ker so travišča pomembna območja za ohranjanje biotske pestrosti, a hkrati tudi kmetijska zemljišča, je smotrno upravljanje bistveno za vzdrževanje ravnovesja med različnimi ekosistemskimi storitvami travišč. Vroey s sodelavci (2022) poudarjajo, da sta pri upravljanju travišč ključna dejavnika čas in pogostost košnje. Zgodnja košnja lahko, kot opozarjajo Humbert s sodelavci (2012), negativno vpliva na biotsko raznovrstnost na način, da prekine razmnoževalni cikel živali in rastlin. Holtgrave s sodelavci (2023) dodatno razkrivajo, da visoka frekvenca košenj omejuje obnovitev različnih rastlinskih vrst na traviščih, saj favorizira le posamezne vrste, ki uspejo v takšnih razmerah, kar vodi v zmanjšanje biotske raznovrstnosti. Za zagotavljanje razmerja med ekosistemskimi storitvami Evropska unija (EU) preko Skupne kmetijske politike (SKP) in Direktive o habitatih EU (Direktiva Sveta 92/43/EGS) stremi k izboljšanju biotske raznovrstnosti v kmetijskih pokrajinah, še posebej na območjih Natura 2000, kamor spada tudi presihajoče Cerknjsko jezero. Na večjem delu območja presihajočega jezera poteka košnja, navadno med majem in oktobrom, ko voda dovolj usahne. Sprva kosijo obrobne travnike, ki niso nikoli poplavljeni, sledijo višje ležeči predeli jezerske kotline in na koncu še dolgo poplavljen najnižji del jezera (Kunaver 1967, 102). Obseg pokošenih travnikov se iz leta v leto spreminja in je odvisen predvsem od vremenskih dejavnikov. Večji del jezera običajno kosijo le enkrat letno, kar je za običajne kmetijske razmere ekstenzivna raba. Na približno polovici površine je košnja pozna, po 1. 8., kar je posledica vključitve v ukrepe za varstvo narave SKP, na preostalem delu pa košnja poteka prej, odvisno od razmer (Kraševc 2024).

Obseg kmetijstva na jezeru se je proti koncu 20. stoletja zaradi različnih dejavnikov zmanjševal (Smrekar 2003), kar je privedlo do zarasti nekaterih območij s trstičjem in ponekod z grmovno vegetacijo. Leta 2002 je bila pokošena le še četrtnina površine presihajočega jezera (Kus 2002). Na travniške vrste negativno vpliva predvsem zaraščanje z lesno vegetacijo (Bordjan in Bordjan 2014). Po letu 2006 je opaziti ponovno povečano zanimanje za košnjo, saj se vedno več površin vključuje v ukrepe SKP, ki so dosegli vrhunec leta 2020, ko je bil delež vključenih površin v SKP okoli 80 % (Kraševc 2024).

Kljub pozitivnim učinkom zaviranja sukcesijskih stopenj na travnikih se nakazuje možnost, da vsakoletna ekstenzivna košnja negativno vpliva na nekatere vrste ptic, rastlin, metuljev in drugo (Kmecl s sodelavci 2022; Ojdanič s sodelavci 2023; Jančar s sodelavci 2024; Kraševc in Stergaršek 2025). Za učinkovito naravovarstveno upravljanje z zemljišči na presihajočem Cerknjskem jezeru je zato ključno pridobiti informacije o obsegu in času košnje v preteklih letih ter njenemu vplivu na ekosistem. Podatke o košnji lahko pridobivamo bodisi s terenskimi (ročnimi) popisi (Jančar 2018) ali s tehnologijo in tehnikami daljinskega zaznavanja (Oštir 2006).

Za spremljanje stanja travnikov, vključno z detekcijo košenj, na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja je na svetovni ravni razvitih že več pristopov (Reinermann, Asam in Kuenzer 2020). Pri detekciji košenj se večina študij osredotoča na uporabo optičnih (Halabuk s sodelavci 2015) ali kombiniranih radarsko-optičnih časovnih vrst prosto dostopnih satelitskih posnetkov (na primer Sentinel) visoke prostorske ločljivosti iz katerih pridobijo informacijo o času in pogostosti košnje (Kolecka s sodelavci 2018; Griffiths s sodelavci 2020; Reinermann, Asam in Kuenzer 2020; Andreatta s sodelavci 2022; Vroey s sodelavci 2022; Holtgrave s sodelavci 2023). Zaznavanje košnje omogočajo opazne spremembe v biomasi in višini vegetacije, ki vplivajo na spektralno odbojnost in teksturo površja (Reinermann s sodelavci 2022, Holtgrave s sodelavci 2023). Pri tem največkrat uporabljajo vegetacijske indekse, kot sta normalizirani diferencialni vegetacijski indeks (NDVI; angleško *Normalised Difference Vegetation Index*) (Rouse s sodelavci 1973) in izboljšani vegetacijski indeks (EVI) (Huete s sodelavci 2002).

Ključni izziv je zagotavljanje gostih in enakomerno porazdeljenih časovnih vrst brez oblakov, saj lahko velike časovne vrzeli ali ne zaznani oblaki otežijo zaznavanje košnje ali celo privedejo do spregledanih dogodkov. Da bi se izognili tej težavi, so v nekaterih študijah v analize vključili tudi radarske posnetke, na primer Sentinel-1, ki so manj občutljivi na oblačnost, vendar je njihova interpretacija bolj

kompleksna (Reinermann s sodelavci 2022; Vroey s sodelavci 2022; Holtgrave s sodelavci 2023). V primerjavi s terenskim popisom metode daljinskega zaznavanja s satelitskimi posnetki omogočajo hitro, objektivno in obsežno analizo velikih travniških površin. V večini primerov dosežejo splošno natančnost zaznavanja košenj nad 80 % (Reinermann s sodelavci 2022; Holtgrave s sodelavci 2023), v nekaterih primerih celo presežejo 90 % (Andreatta s sodelavci 2022). Glavna pomanjkljivost omenjenih izdelkov za neposredno detekcijo košenj na Cerknškem jezeru je, da niso razviti za presihajoča jezera, kjer imamo poleg košenj, v istem času še presihanje vode, katere vzorec je nepredvidljiv in odvisen od sezonskih vremenskih razmer (Miklič in Trobec 2023). Poleg tega prostorska ločljivost Sentinel-2 ne zadovoljuje potreb spremljanja košenj na parcelah, ki so ožje od 10 m, ki so na območju Cerknice pogoste (PlanetScope 2021) zato moramo podatke dopolniti s satelitskimi posnetki večje prostorske ločljivosti, na primer s posnetki PlanetScope.

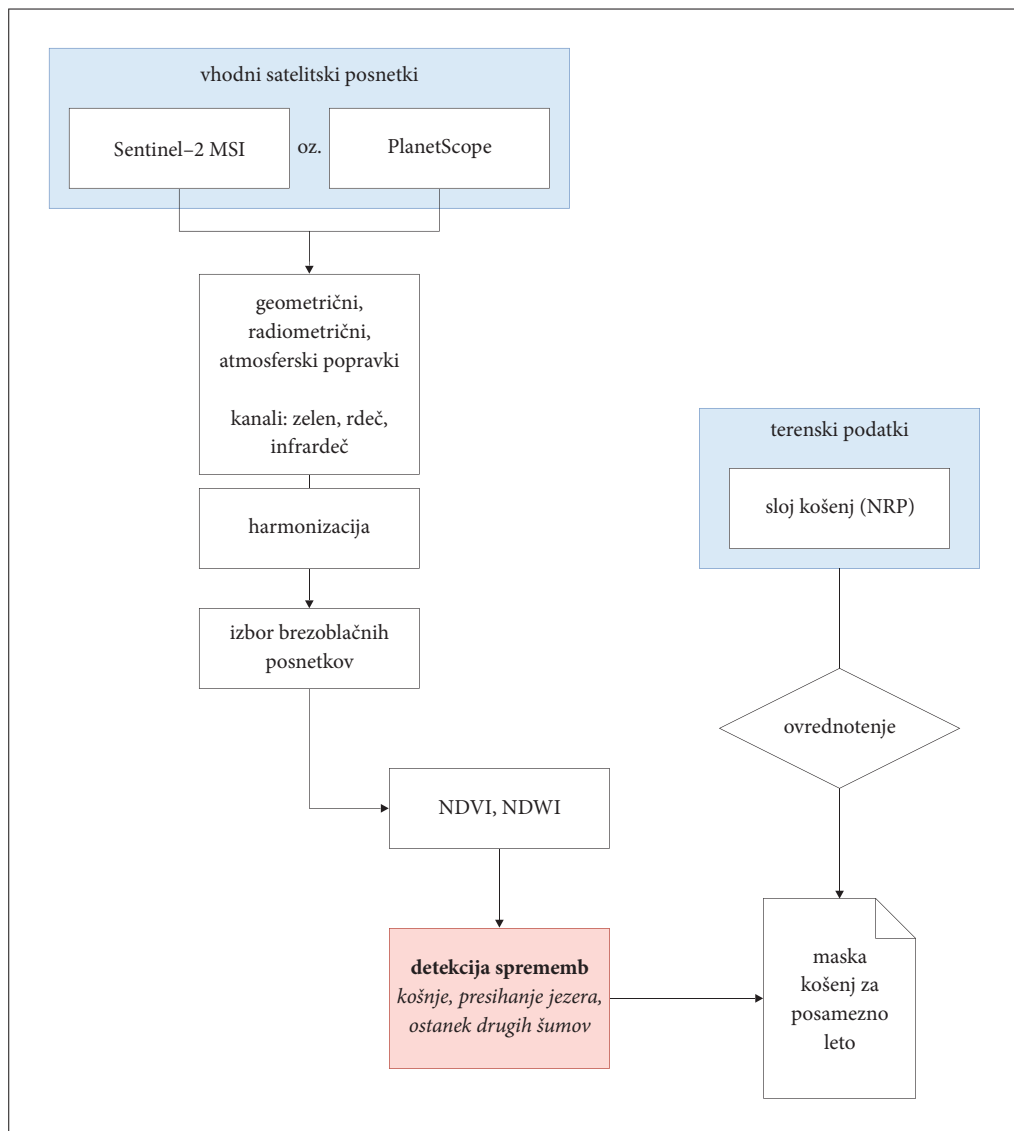
Namen naloge je raziskati uporabnost časovne vrste Sentinel-2 in PlanetScope za natančno zaznavanje pokoenosti presihajočega Cerknškega jezera na letni ravni med leti 2017 in 2023. V tej smeri smo si zadali naslednje cilje:

1. razvoj metode za detekcijo košenj na presihajočem jezeru, ki temelji na kombinaciji uporabe večspektralnih časovnih vrst satelitskih posnetkov Sentinel-2 in PlanetScope;
2. preverjanje natančnosti zaznavanja košenj s 5-dnevnimi posnetki Sentinel-2 v primerjavi z dnevnimi posnetki PlanetScope;
3. ugotavljanje razlik v natančnosti med terenskim (ročnim) zajemom košenj v primerjavi z razvito metodo, ki temelji na podatkih daljinskega zaznavanja.

2 Metode dela in podatki

Pri razvoju in testiranju metode smo se osredotočili na območje presihajočega Cerknškega jezera (površina 22 km²), katerega obseg je določen kot območje rednih poplav (Ravbar s sodelavci 2021). Presihajoče jezero je del kraškega polja, ki leži na Notranjskem med Javorniškim hribovjem na jugu in Slivnico na severu in ga napaja več površinskih in podzemnih voda iz okoliških hribovij. Običajno je jezerska kotanja poplavljen v času padavinskih viškov spomladi in jeseni ter traja skozi zimo, v času poletne suše pa se včasih jezero v celoti izsuši (Blatnik s sodelavci 2024). Obseg in trajanje ojezeritve sta odvisna od količine in pogostosti padavin. V zadnjih desetletjih se zmanjšujeta letna količina padavin in delež padavin v obliki snega pozimi, kar vodi v upadanje obsega ojezeritve predvsem v spomladanskem času (Trobec in Miklič 2023; Blatnik s sodelavci 2024). Na presihajočem jezeru je veliko različnih mokriščnih habitatov, vendar sta pogostost pojavljanja in vrstna sestava močno pogojeni s sezonsko višino vodostaja. Med habitatnimi tipi osrednjega dela, kjer je ojezeritev najdaljša, prevladujejo zveze navadnega trsta (*Phragmites*) in visokih šašev (*Magnocaricion*), ki proti obrobni predelom preidejo v mokrotne travnike z modro stožko (*Molinion*) ali rušnato masnico (*Dsechampsion*) ter na koncu v asociacije bazičnih nizkih barij s sitovci (*Schoenetum*) in visoko pahovkovje (*Arrhenatherion*) (Gaberščik s sodelavci 2018; Stergaršek s sodelavci 2023).

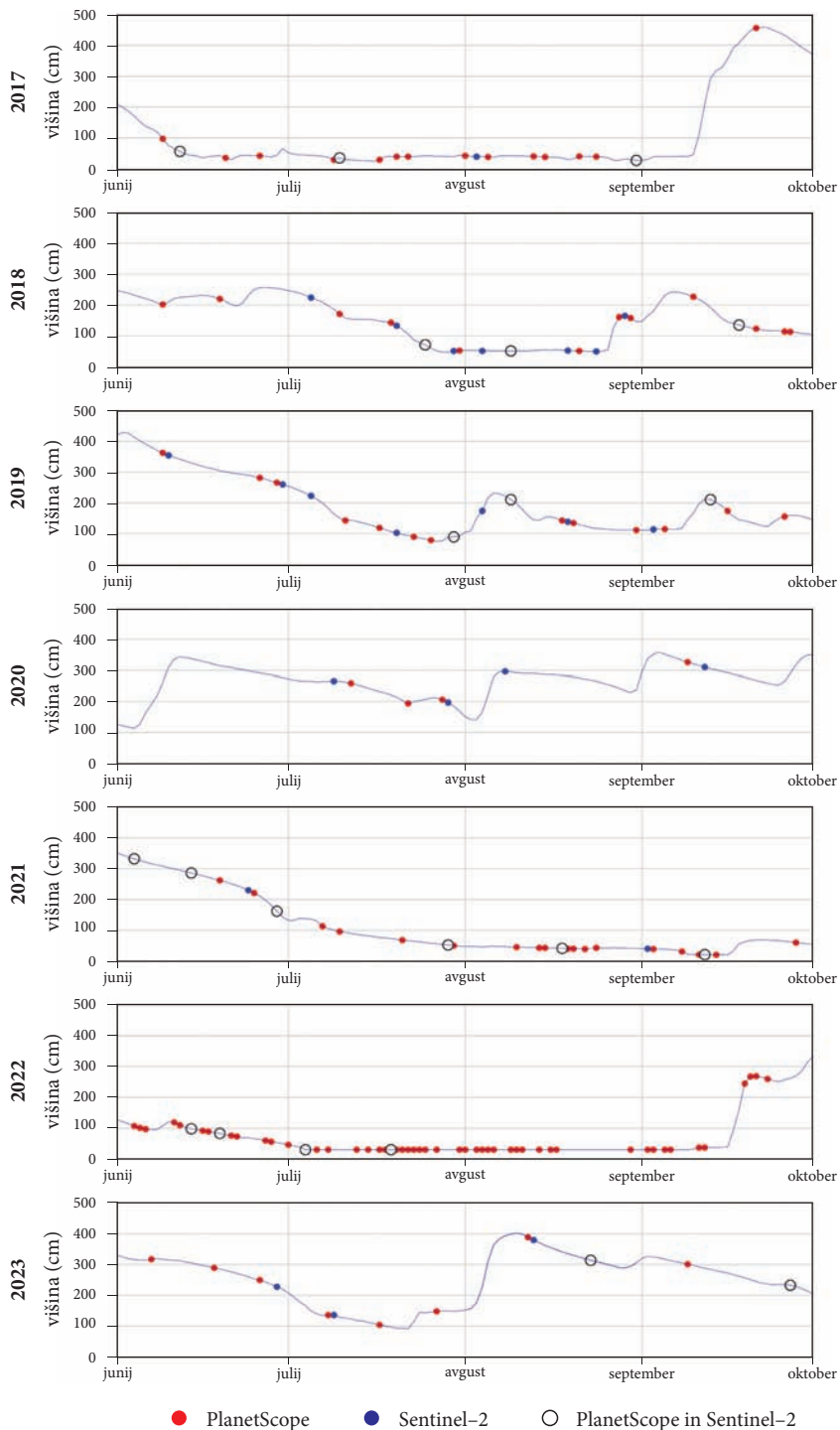
V študiji smo uporabili prosto dostopne satelitske posnetke Sentinel-2 in PlanetScope. Sentinel-2, ki je del evropskega programa Copernicus, vsakih 5 dni zagotavlja multispektralne posnetke s prostorsko ločljivostjo 10 m, 20 m ali 60 m, odvisno od spektralnega kanala. Podjetje Planet Labs, s konstelacijo več kot 180 malih satelitov Dove, zagotavlja dnevne satelitske posnetke PlanetScope s prostorsko ločljivostjo med 3 do 5 m, kar omogoča še bolj podrobno spremljanje hitrih sprememb na Zemljinem površju. Starejše generacije satelitov Dove zajemajo podatke v štirih spektralnih kanalih (rdečem – R, zelenem – G, modrem – B in bližnjem infrardečem – NIR), novejša generacija SuperDove pa zagotavlja dodatne spektralne kanale (obalni moder – Coastal Blue, zelen I – Green I, rumen – Yellow in kanal rdečega roba – RedEdge) (PlanetScope 2021; PlanetScope 2024). Za zaznavanje košenj med majem in novembrom v letih od 2017 do 2023, smo uporabili vse posnetke Sentinel-2 (s stopnjo obdelave 2A; angleško



Slika 1: Shematski prikaz postopka za detekcijo košnje na Cerkniškem jezeru. Postopek je potekal ločeno za posnetke Sentinel-2 in posnetke PlanetScope.

Slika 2: Višina vodostaja na merilni postaji Dolenje jezero (Arhiv... 2024) in datumi uporabljenih brezoblačnih satelitskih posnetkov Sentinel-2 in PlanetScope med leti 2017 in 2023. ► (str. 159)

Analiza časovnih vrst Sentinel-2 in PlanetScope za detekcijo košenj na presihajočem Cerkniškem ...



Level-2A) in z oblačnostjo nižjo od 20 %. Vsi posnetki s prostorsko ločljivostjo 10 m, torej rdeč (R), zelen (G), moder (B) in bližnji infrardeč (NIR) spektralni kanal, so bili radiometrično in atmosfersko popravljeni s procesno verigo STORM (Pehani et al. 2016), katere del so tudi samodejni atmosferski popravki, narejeni s programom ATCOR 2 (Richter and Schlapfer 2016). Posnetke za analizo je zagotovil ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije (Pehani s sodelavci 2022). Posnetke PlanetScope, z oblačnostjo nižjo od 20 %, smo prenesli direktno v programu ArcGIS Pro 3.1 z vtičnikom Planet Imagery. Vtičnik omogoča prenos na območje obrezanih geometrično, atmosfersko, radiometrično popravljenih ter normaliziranih in harmoniziranih posnetkov PlanetScope. Normalizacija in harmonizacija pomenita, da so posnetki zajeti z različnimi generacijami satelitov Dove med seboj časovno in prostorsko skladni in združljivi, harmonizacija pa dodatno pomeni tudi usklajenost in ujemanje s ciljnimi spektralnim odzivom senzorja Sentinel-2 (Kington and Collison 2022). Število uporabnih satelitskih posnetkov se med leti spreminja (slika 2).

Ker smo se pri detekciji košenj osredotočili na uporabo spektralnih indeksov NDVI in normaliziranega diferencialnega vodnega indeksa NDWI (angleško *Normalised Difference Water Index*), ki temeljita na zelenem, rdečem in bližnjem infrardečem spektralnem kanalu, smo lahko ločeno uporabili normalizirane in harmonizirane časovne vrste PlanetScope in Sentinel-2 (preglednica 1).

NDVI je kazalnik aktivnosti rastja na zemeljski površini in je relativno in posredno merilo količine fotosintetske biomase (Rouse s sodelavci 1973). Izračuna se kot razmerje med razliko bližnje infrardeče svetlobe (NIR) in rdeče svetlobe (R) ter njuno vsoto.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Košnja odstrani del vegetacije, kar zmanjša NDVI, saj se zmanjša odbojnost v bližnjem infrardečem pasu, ki jo močno odbija zdrava, zelena vegetacija, v primerjavi z rdečo svetlobo, ki jo zelena vegetacija absorbira. Sprememba NDVI pred in po košnji služi kot indikator, da je bilo zemljišče pokošeno. S prostorsko in časovno analizo NDVI lahko ocenimo, kako pogosto in v kakšnem obsegu so bile košnje izvedene na izbranem študijskem območju. Dodatno lahko spremljanje NDVI po košnji pomaga pri ocenjevanju hitrosti regeneracije vegetacije. Postopno povečevanje vrednosti NDVI po košnji kaže na rast in okrevanje vegetacije.

NDWI ali normalizirani diferencialni vodni indeks se uporablja za zaznavanje in spremljanje vsebnosti vode v vegetaciji in/ali za identifikacijo vodnih teles, kot so jezera, reke in mokrišča (Gao 1996). Izračuna se kot razmerje med razliko zelene (G) in bližnje infrardeče svetlobe ter njuno vsoto.

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR}$$

Voda močno absorbira bližnje infrardečo in odbija zeleno svetlobo, zato z NDWI jasno ločimo mejo območij vegetacije in vode. S pomočjo NDWI v primeru detekcije košnje izločimo območja vode v času, ko na obrobju jezera že kosijo in tako dobimo končen sloj, kjer so zaznane le košnje.

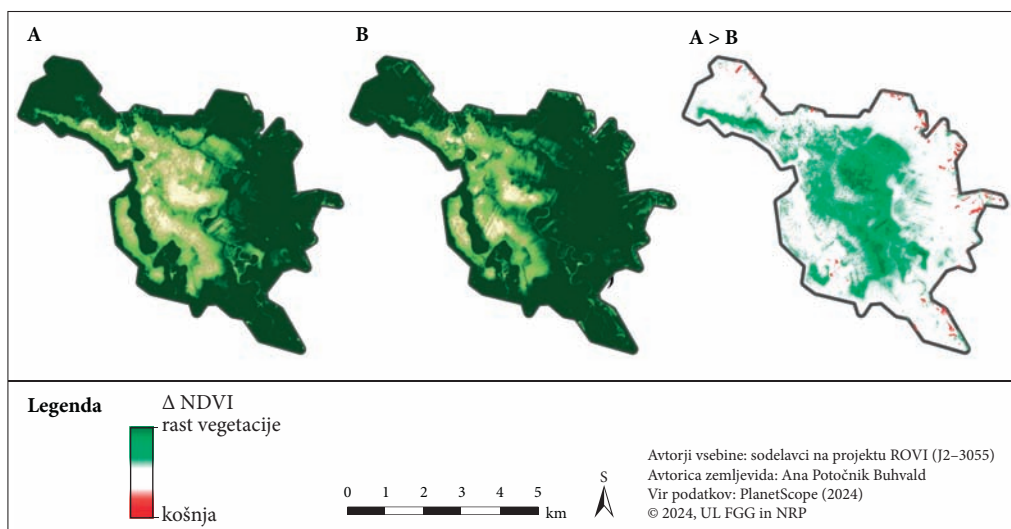
Preglednica 1: Srednje valovne dolžine osnovnih spektralnih kanalov Sentinel-2 in PlanetScope.

spektralni kanal	srednja valovna dolžina (nm)	
	Sentinel-2 (10 m)	PlanetScope (Doves) (3 m)
zeleni	560	531
rdeči	665	665
bližnji infrardeči	842	865

Detekcijo košenj smo izvedli v programskem okolju ArcGIS Pro 3.1 s čarovnikom za detekcijo sprememb (angleško *Change Detection Wizard*), ki med drugim omogoča tudi zaznavanje časovnih sprememb na ravni posameznega piksla med dvema zveznima rastrama. Kot vhodne podatke smo uporabili brezoblačne satelitske posnetke v časovnih vrstah Sentinel-2 in PlanetScope. Spremembe, ki nakazujejo košnje, se izračunajo na podlagi vrednosti NDVI pred in po dogodku. Pozitivne vrednosti NDVI so lahko znak za rast vegetacije, negativne vrednosti NDVI pa znak za izgubo vegetacije oziroma košnjo. Na podlagi študije smo empirično določili, da je prag detekcije košnje vrednost razlike NDVI manjša ali enaka vrednosti -0,1 (slika 3).

Če se višina vodostaja med časovno zaporednima posnetkoma poveča (na primer avgusta 2020, kot je prikazano na sliki 2), to kaže na povečanje obsega vode. V takih primerih algoritem prav tako zazna upad vrednosti NDVI, kar v osnovi pomeni košnjo, čeprav se ta tam ni zgodila. Območja, kjer je potencialno možna košnja so tista, ki imajo vrednosti NDWI med -1 in -0,6, če pa je vrednost višja, pomeni, da je tam prisotna voda. Izkazalo se je, da je maskiranje vode nujno tako na začetku sezone košenj (konec maja, začetek junija), kot tudi med njo, če je poletje deževno (na primer leta 2020 in 2023). Končen sloj košenj v posameznem letu dobimo s prekrivanjem rastrskih slojev košenj v skupen raster, ki zajema vse košnje v posamezni sezoni med 2017 in 2023. Vektoriziramo vsa območja, kje je bila v posameznem letu zaznana vsaj ena košnja in dodatno izločimo območja, ki so manjša od enega piksla Sentinel-2 (100 m²). Postopek smo ločeno izvedli za posnetke Sentinel-2 in PlanetScope.

V letu 2021 je potekal tudi terenski zajem podatkov o obsegu košnje in drugih parametrov dejanske rabe zemljišč na območju Cerkniškega jezera. Podatki terenskega popisa so bili uporabljeni kot referenčni podatki za validacijo samodejne zaznave košenj. Popis je potekal po podobni kartirni metodi kot na Ljubljanskem barju (Jančar 2018). Prepoznanih je bilo 27 tipov rabe, ki so bili združeni v 11 skupin, med katerimi je bila ena »pokošeno«. Digitalizacija fizičnih popisnih listov v vektorski sloj je potekala na podlagi ažurnih satelitskih posnetkov SkySat z ločljivostjo 0,5 m. Podrobnejši opis metodologije terenskega popisa je podan v Kraševc in Jančar (2023).



Slika 3: Detekcija sprememb dveh časovno zaporednih satelitskih posnetkov PlanetScope z vegetacijskim indeksom NDVI na Cerkniškem jezeru. Posnetek A je bil zajet dne 7. 6. 2023, posnetek B pa 18. 6. 2023. Zelena območja kažejo naraščanje vrednosti NDVI, rdeča območja pa upad vrednosti NDVI oziroma košnjo.

Rezultate smo preverili s presekom izračunanih površin košenj, zaznanih na podlagi satelitskih posnetkov Sentinel-2 in ločeno na posnetkih PlanetScope, ter košenj, označenih na terenu. Ujemanje smo označili z M. Glede na referenčni sloj (terenski popis) smo ocenili tudi napačno zaznane pokošene površine. Napaka lahko kaže na to, da smo s satelitskimi posnetki košnjo zaznali, na terenu je ni bilo, ali obratno, da je bilo območje pokošeno, s satelitskimi posnetki pa tega nismo zaznali. V prvem primeru, ko s satelitskim posnetki zaznamo košnjo, ki je dejansko v naravi ni, govorimo o precenjeni vrednosti (O; angleško *overestimate*), v drugem, ko je ne zaznamo, govorimo o podcenjeni vrednosti (U; angleško *underestimate*). Vse vrednosti so izražene kot delež vseh površin, ki so bile zaznane s terenskim popisom (T).

3 Rezultati

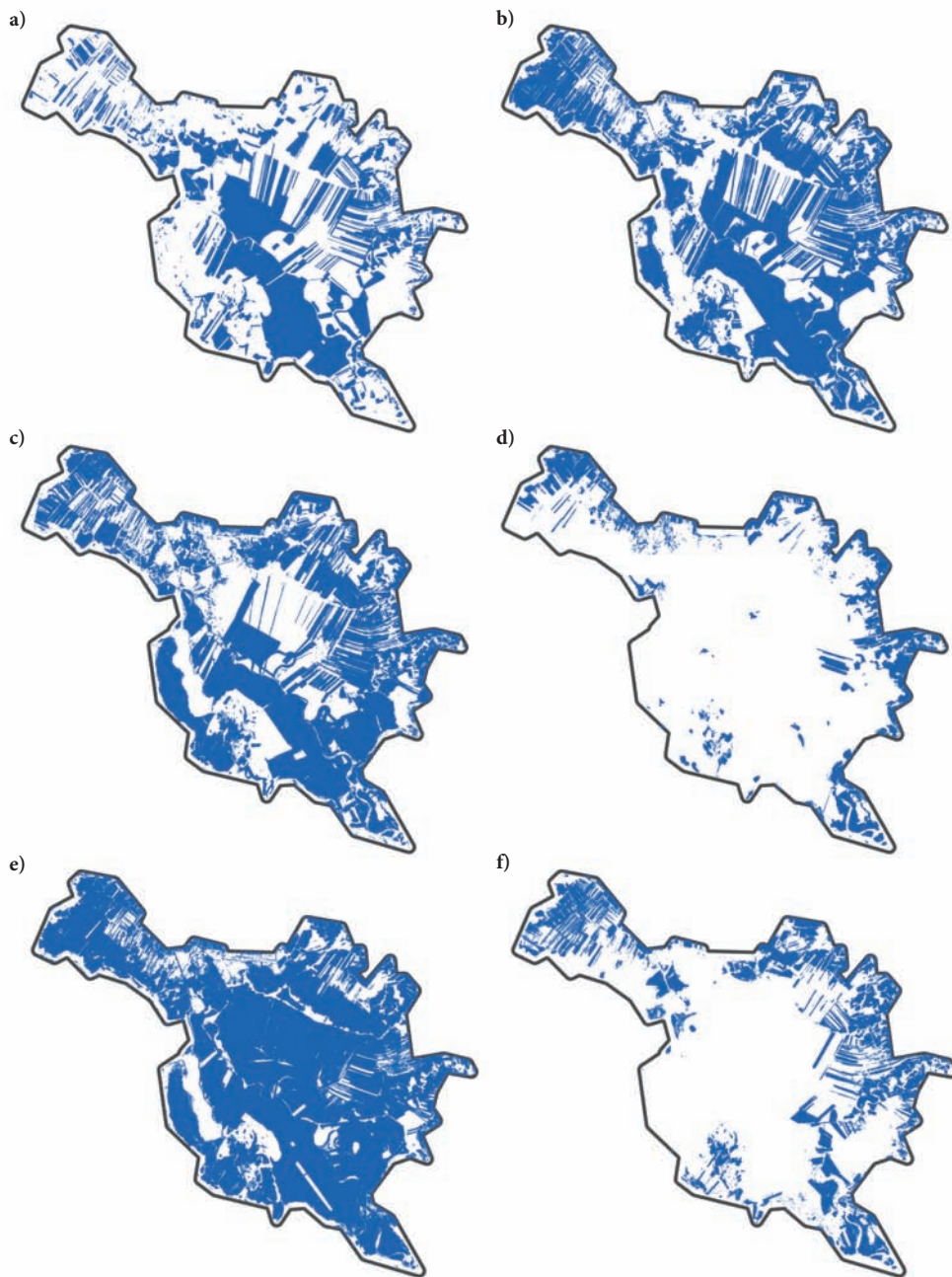
Zaradi spremenljivih vremenskih razmer in različne višine vodostaja v poletnih mesecih se letnih obseg košenj spreminja. Ugotovili smo, da so med leti 2017 in 2023 velika odstopanja v višini vodostaja na merilnem mestu Dolenje Jezero (povprečje 165,03 cm; standardni odklon 78,45). S posnetki Sentinel-2 smo praviloma v vseh analiziranih letih, razen 2018, zaznali večji obseg košenj kot s posnetki PlanetScope. Največji delež pokošenosti jezera je bil glede na podatke PlanetScope zaznan leta 2022 (preglednica 2), ko je bila višina vodostaja nizka in najnižji leta 2020, ko je bila višina vodostaja visoka.

Pearsonov koeficient korelacije med deležem pokošenosti jezera zaznanim s PlanetScope in povprečno višino vodostaja je $-0,83$ ($p=0,020$, $n=7$) in kaže močno negativno linearno povezavo. Podobno je s Sentinel-2, kjer je koeficient korelacije $-0,80$ ($p=0,108$, $n=5$). Trend je podoben, in sicer, višja kot je povprečna gladina vodostaja v poletnih mesecih, manj je pokošene površine na jezeru. Slika 4



Preglednica 2: Višina vodostaja od 1. junija do 30. septembra (Arhiv ... 2024) ter delež pokošenosti jezera, ki ga dobimo iz s satelitskimi posnetki Sentinel-2 in PlanetScope. V letih 2022 in 2023 v časovni vrsti Sentinel-2 ni bilo zadostnega števila brezoblačnih posnetkov, zato je analiza izdelana samo na podatkih PlanetScope.

leto	povprečna višina vodostaja Dolenje Jezero od 1. junija do 30. septembra [cm]	delež pokošenosti jezera [%]		število uporabljenih posnetkov	
		PlanetScope	Sentinel-2	PlanetScope	Sentinel-2
2017	103.42	41.2	60.4	17	4
2018	148.92	60.8	49.4	30	10
2019	191.76	59.0	67.2	19	11
2020	264.64	11.5	18.6	6	4
2021	110.28	65.3	79.8	26	8
2022	70.08	81.3	manjkajoči reprezentativni posnetki	62	4
2023	266.14	23.8	manjkajoči reprezentativni posnetki	12	5

Slika 4: Območja košenj zaznana s časovno vrsto satelitskih posnetkov PlanetScope za leto 2017 (a), 2018 (b), 2019 (c), 2020 (d), 2022 (e) in 2023 (f). ► (str. 163)



Legenda

-  košnja, zaznana le s satelitskimi podatki PlanetScope
-  obravnavano območje

0 1 2 3 4 5 km



Avtorji vsebine: sodelavci na projektu ROVI (J2-3055)
Avtorja zemljevida: Ana Potočnik Buhvald, Rudi Kraševc
Vir podatkov: Notranjski regijski park (NRP, 2021), ZRC
SAZU za arhiv Sentinel-2 (2023), PlanetScope (2024)
© 2024, UL FGG in NRP

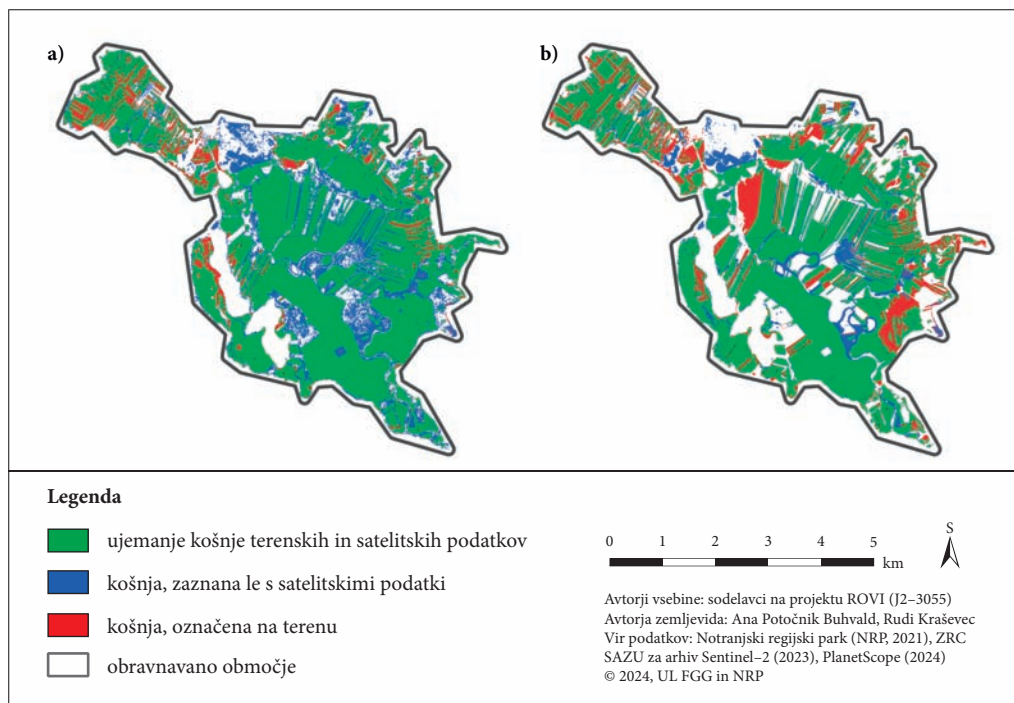
s končnimi sloji košenj zaznamani s posnetki PlanetScope jasno odraža stanje na presihajočem jezeru med 2017 in 2023. Leto 2021 je bilo posebej preverjeno s terenskimi podatki (preglednica 3, slika 5).

S terenskimi podatki smo v letu 2021 košnjo zaznali na 72,8% površine študijskega območja. V istem letu smo pokošeno zaznali na 79,8% površine na podlagi Sentinel-2 oziroma na 65,3% na podlagi PlanetScope. S Sentinel-2 je torej območje košnje precenjeno za 7% in s PlanetScope za 7,5% podcenjeno (preglednica 3).

Iz validacije je razvidno, da je ujemanje zaznane košnje večje s podatki PlanetScope, kjer je pravilno definiranih 87,95% pokošanih površin (slika 5, zelena barva). Pri tem je zaznava košnje na podatkih PlanetScope bolj restriktivna, saj ima manjši delež precenjenih površin z napačno zaznano košnjo (slika 5, modra barva). Po drugi strani, je delež površin na katerih je bil podcenjen obseg košnje skoraj dvakrat večji v primeru uporabe posnetkov PlanetScope, kot pri Sentinel-2 (slika 5, rdeča barva).

Preglednica 3: Validacija rezultatov košnje zaznane s satelitskimi posnetki s terenskimi podatki za leto 2021.

	Sentinel-2	PlanetScope
terenski podatki (T)	1768 ha	1768 ha
obseg zaznane košnje (M+O)	1939,1 ha (100 %)	1585,7 ha (100 %)
ujemanje (M)	1574,5 ha (81,2 %)	1394,6 ha (87,95 %)
precenjenost (O)	364,6 ha (18,8 %)	191 ha (12,05 %)
podcenjenost (U/T)	192,3 ha (10,87 %)	375,6 ha (21,25 %)



Slika 5: Validacija rezultatov pridobljenih s satelitskimi posnetki Sentinel-2 (a) in PlanetScope (b) v primerjavi s terenskim zajemom za leto 2021.

4 Razprava

Podatki Sentinel-2 in PlanetScope zagotavljajo goste časovne vrste, z vrzelmi večinoma krajšimi od 10 dni, kar se je izkazalo za zadostno zanesljivost detekcije košnje v posameznem analiziranem letu. Po košnji (tudi po odtoku vode) se trava hitro obnovi, zato lahko dogodke, ki so morda bili spregledani z upadom NDVI, dopolnimo z detekcijo rasti vegetacije. To je še posebej pomembno v začetku rastne sezone (junija), ko običajno ni dovolj brezoblačnih posnetkov.

Rezultati košenj, ki jih dobimo s časovnimi vrstami Sentinel-2 in PlanetScope so medsebojno primerljivi in se s terenskimi podatki ujemajo 80–90%. Brezplačni satelitski posnetki Sentinel-2 so v časovnem smislu (za zaznavo košenj) dovolj točni, razen, ko nimamo na razpolago zadostnega števila brezoblačnih posnetkov (na primer za leti 2022 in 2023). So pa v prostorskem smislu manj uporabni na razdrobljenih, dolgih in ozkih zemljiških parcelah, kot so na območju Cerknice. Tu so se izkazali bolj točni dnevni posnetki PlanetScope.

Kljub točnim in smiselnim rezultatom, ki jih dobimo z razvito metodologijo, so še vedno opazne omejitve, kar pomeni, da z daljinskim zaznavanjem ne moremo v popolnosti nadomestiti terenskega dela, lahko pa z rezultati olajšamo in pohitrimo zajem podatkov ter s tem zmanjšamo stroške, vsaj na območjih, kjer je detekcija košenj zanesljiva. Metoda ni zanesljiva na območjih, kjer je dalj časa prisotna voda – ko ta odteče se to zazna kot košnja, gre pa le za detekcijo golih tal, na primer ob strugi Stržena, na Blatih, zadrževalniku Rešeto. Tam časovne vrste Sentinel-2 in PlanetScope precenijo košnje. Košenje so bile napačno zaznane tudi na pašnih zemljiščih v Retju ter na območju Beneteka. S Sentinel-2 so bile košnje zaznane tudi na območju sklenjenih sestojev navadnega trsta (*Phragmites australis*). Tu so posnetki PlanetScope z boljšo točnostjo zaznave dodatno pokazali prednost uporabe za podrobno detekcijo košenj na Cerkniškem jezeru.

5 Sklep

Natančno in hitro zaznavanje obsega košnje je bistveno orodje za celostno spremljanje stanja habitatov na Cerkniškem jezeru. Izkazalo se je, da za natančno spremljanje dogajanja na jezeru z razvito metodologijo potrebujemo časovne vrste satelitskih posnetkov PlanetScope, s prostorsko ločljivostjo 3 do 5 m, saj so tam zemljiške parcele velikokrat ožje od enega piksla Sentinel-2, zato košnjo z njim težje pravilno zaznamo. Tako lahko s točnostjo 88,0% ugotavljamo čas in obseg košnje že znotraj opazovanega leta, kar dodatno pomaga pri razumevanju vpliva človekovega upravljanja na naravo. To orodje omogoča tudi sprotno spremljanje in prilagajanje košenj v Notranjskem regijskem parku. Večletne študije košenj podajajo informacije iz katerih lahko ugotovimo katera območja je smiselno kositi v posameznem letu, da zagotavljamo kar najboljše razmere za visoko biotsko pestrost.

ZAHVALA: Raziskavo je sofinancirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna v okviru raziskovalnega programa številka P2-0406 Opazovanje Zemlje in geoinformatika, temeljnega raziskovalnega projekta ROVI – Združevanje in obdelava radarskih in optičnih časovnih vrst satelitskih posnetkov za spremljanje naravnega okolja številka J2-3055 in usposabljanja mlade raziskovalke številka 53599. Terenski podatki Notranjskega regijskega parka so bili pridobljeni tekom projekta LIFE FOR SEEDS – LIFE20 NAT/SI/000253, ki ga sofinancirajo Evropska unija, Ministrstvo za javno upravo in Sigrid Rausing Trust, ter projekta LIFE TRSCA 101114184 – LIFE22-NAT-SI-LIFE TRSCA, ki ga sofinancira Evropska unija. Zahvala tudi Agenciji Republike Slovenije za okolje in Notranjskemu regijskemu parku za posredovane podatke.

6 Viri in literatura

- Arhiv površinskih voda Agencije Republike Slovenije za okolje, 2024. Medmrežje: https://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Str%C5%BEen&p_postaja=5680&p_let=2016&b_arhiv=Prika%C5%BEi (12. 1. 2024).
- Andreatta, D., Gianelle, D., Scotton, M., Vescovo, L., Dalponte, M., 2022: Detection of grassland mowing frequency using time series of vegetation indices from Sentinel-2 imagery. *GIScience & Remote Sensing* 59-1. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2036055>
- Blatnik, M., Gabrovšek, F., Ravbar, N., Frantar, P., Gill, L. W. 2024: Assessment of climatic and anthropogenic effects on flood dynamics in the Cerknjsko Polje (SW Slovenia) based on a 70-year observation dataset. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 51-101609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101609>
- Bordjan D., Bordjan A. 2014: Effects of overgrowing at Cerknica Polje (southern Slovenia) on breeding farmland birds. *Acrocephalus* 35, 162-163. DOI: <https://doi.org/10.1515/acro-2014-0009>
- Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst. Medmrežje: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fc0afece-a4f2-455a-beee-4e71b72230c1/language-sl> (2. 2. 2024).
- Gaberščik, A., Krek, J. L., Zelnik, I. 2018: Habitat diversity along a hydrological gradient in a complex wetland results in high plant species diversity. *Ecological Engineering* 118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.04.017>
- Gao, B. 1996: NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58-3. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Griffiths, P., Nendel, C., Pickert, J., Hostert, P., 2020: Towards national-scale characterization of grassland use intensity from integrated Sentinel-2 and Landsat time series. *Remote Sensing of Environment* 238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.017>
- Halabuk, A., Mojses, M., Halabuk, M., David, S. 2015: Towards detection of cutting in hay meadows by using of NDVI and EVI time series. *Remote Sensing* 7-5. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70506107>
- Holtgrave, A.-K., Lobert, F., Erasmi, S., Röder, N., Kleinschmit, B. 2023: Grassland mowing event detection using combined optical, SAR, and weather time series. *Remote Sensing of Environment* 295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113680>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83-1. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Humbert, J.-Y., Pellet, J., Buri, P., Arlettaz, R. 2012: Does delaying the first mowing date benefit biodiversity in meadowland? *Environmental Evidence* 1-1. DOI: <https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-9>
- Jančar, T. 2018: Popis pokošenosti na Ljubljanskem barju 2017: popis rabe kmetijskih zemljišč s poudarkom na datumu košnje, v 2.0. Poročilo, Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije. Ljubljana.
- Jančar, T., Stergaršek, J., Kraševac, R. 2023: Popisi kosca *Crex crex* na Cerknjskem jezeru v letu 2023 in analiza njegovega habitata. Poročilo, Notranjski regijski park, Cerknica.
- Kington, J., Collison, A. 2022: Scene level normalization of Planet Dove imagery. Medmrežje: https://assets.planet.com/docs/scene_level_normalization_of_planet_dove_imagery.pdf (6. 2. 2024).
- Kmecl, P., Gamsar, M., Ploj, A., Jančar, T. 2022: The challenges of bird conservation on an intermittent karst lake: the interplay between changing water level and agriculture. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 32-9. DOI: <https://doi.org/10.1002/aqc.3854>
- Kus, J. 2002: Izbira habitata travniških ptic pevk na Cerknjskem polju. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kraševac, R., Stergaršek, J. 2025: Izzivi upravljanja z mokriščnimi habitati. Presihajoče jezero: Monografija o Cerknjskem jezeru. Ljubljana. [v pripravi]

- Kraševac, R., Jančar, T. 2023: Popis rabe zemljišč na Cerkniškem jezeru v letu 2021, LIFE SEMENA. Poročilo, Notranjski regijski park. Cerknica.
- Kraševac, R. 2024: Analiza vpisa kmetijsko-okoljskih ukrepov na SPA Cerkniško jezero 2006–2023, LIFE TRŠČA WP 2.1.i. Poročilo, Notranjski regijski park. Cerknica.
- Kolečka, N., Ginzler, C., Pazar, R., Price, B., Verburg, P. 2018: Regional scale mapping of grassland mowing frequency with Sentinel-2 time series. *Remote Sensing* 10-8. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10081221>
- Kunaver, P. 1967: Cerkniško jezero. Kulturni in naravni spomeniki Slovenije: Zbirka vodnikov 9. Ljubljana.
- Miklič, S., Trobec, T. 2023: Sezonske spremembe gladine Cerkniškega jezera v obdobju 1961–2020. *Dela* 59. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.59.91-150>
- Ojdanič, N., Zelnik, I., Holcar, M., Gaberščik, A., Golob, A. 2023: Contrasting dynamics of littoral and riparian reed stands within a wetland complex of Lake Cerknica. *Plants* 12-5. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051006>
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Pehani, P., Čotar, K., Marsetič, A., Zaletelj, J., Oštir, K. 2016: Automatic geometric processing for very high resolution optical satellite data based on vector roads and orthophotos. *Remote Sensing* 8-4. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8040343>
- Pehani, P., Veljanovski, T., Kokalj, Ž., Oštir, K. 2022: Six years of Sentinel-2 archive of Slovenia. *Geodetski vestnik* 66-2. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2022.02.220-257>
- PlanetScope, 2021. Medmrežje: <https://www.gov.si/novice/2021-04-28-planetoscope/> (5. 2. 2024).
- PlanetScope, 2024. Medmrežje: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/planet/planet-scope/> (5. 2. 2024).
- Ravbar, N., Mayaud, C., Blatnik, M., Petrič, M. 2021: Determination of inundation areas within karst poljes and intermittent lakes for the purposes of ephemeral flood mapping. *Hydrogeology Journal* 29-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02268-x>
- Reinermann, S., Asam, S., Kuenzer, C. 2020: Remote sensing of grassland production and management – A review. *Remote Sensing* 12-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12121949>
- Reinermann, S., Gessner, U., Asam, S., Ullmann, T., Schucknecht, A., Kuenzer, C. 2022: Detection of grassland mowing events for Germany by combining Sentinel-1 and Sentinel-2 time series. *Remote Sensing* 14-7. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14071647>
- Richter, R., Schlapfer, D. 2016: Atmospheric / Topographic correction for satellite imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 9.0.2). Wessling, Wil.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, W. D. 1973: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium. Washington, DC.
- Smrekar, A. 2003: Družbeno-geografske značilnosti Cerkniškega polja v luči obremenjevanja voda. Jezero, ki izginja: Monografija o Cerkniškem jezeru. Ljubljana.
- Stergaršek, J., Kraševac, R., Otopal J. 2023: Kartiranje habitatnih tipov na Cerkniškem jezeru (2022), v. 3, Projekt LIFE SEMENA. Poročilo, Notranjski regijski park. Cerknica.
- Vroey, M., Vendictis, L., Zavagli, M., Bontemps, S., Heymans, D., Radoux, J., Koetz, B., Defourny, P. 2022: Mowing detection using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series for large scale grassland monitoring. *Remote Sensing of Environment* 280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113145>