univerza v ljubljani

ekonomska fakulteta

MAGISTRSKO DELO

Priložnosti uporabe analitike masovnih podatkov za trajnostno upravljanje z voDnimi viri

Ljubljana, april 2021 KLEMEN KOŽELJ

**IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Klemen Koželj, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtor predloženega dela z naslovom Priložnosti uporabe analitike masovnih podatkov za trajnostno upravljanje z vodnimi viri, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem red. prof. dr. Jurij Jaklič

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil/-a samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel/-a, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil/-a;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

V Ljubljani, dne \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Podpis študenta(-ke): \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

KAZALO

[UVOD 1](#_Toc66618547)

[1 RAZVOJ NAPOVEDOVALNEGA MODELA 2](#_Toc66618548)

[1.1 Analiza surovih podatkov 2](#_Toc66618549)

[2 SATELITSKI POSNETKI 3](#_Toc66618550)

[2.1 Satelita Sentinel-2 4](#_Toc66618551)

[2.2 Pridobivanje satelitskih posnetkov 5](#_Toc66618552)

[2.2.1 Večnivojsko procesiranja satalitskih slik 5](#_Toc66618553)

[2.2.2 SentinelHub 6](#_Toc66618554)

[2.3 Procesiranje satelitskih posnetkov 7](#_Toc66618555)

[2.3.1 Indeks NDWI 7](#_Toc66618556)

[2.3.2 Indeks NDVI 7](#_Toc66618557)

[2.4 Ocenjevanje pridobljenih informacij 8](#_Toc66618558)

[2.5 Obogatitev napovedovalnega modela 8](#_Toc66618559)

[2.6 Zamenjava merilcev vode 8](#_Toc66618560)

[SKLEP 10](#_Toc66618561)

[LITERATURA IN VIRI 11](#_Toc66618562)

[PRILOGE 12](#_Toc66618563)

KAZALO tabel

[Tabela 1: Tehnični podatki optičnih senzorjev na satelitu Sentinel-2 4](#_Toc66618564)

KAZALO slik

[Slika 1: Prikaz opazovanega zemeljskega površka z strani satelita Sentinel-2 4](#_Toc66618565)

[Slika 2: Prikaz Sentinel-2 slik v nivoju 1B (levo) in 1C (desno) 5](#_Toc66618566)

[Slika 3: Jezero Bilancino z okolico na dan 15.11.2016 6](#_Toc66618567)

KAZALO PRILOG

[Priloga 1: Ne aeterno civibus assentior sit, ne ius homero soleat pertinacia. 1](#_Toc66531636)

[Priloga 2: Ad vidit illud quaerendum eam. Aliquid pertinacia at usu. 2](#_Toc66531637)

SEZNAM KRATIC

angl. – angleško

**EU** – (angl. European Union); Evropska unija

**ESA** – (angl. European Space Agency); Evropska vesoljska agencija

**EO** – (angl. Earth Observation); opazovanje zemlje

**API** – (angl. Application Programming Interface); vmesnik uporabniškega programa

**SDK** – (angl. Software Development Kit); paket za razvoj programske opreme

**REST** – (angl. Representational State Transfer); način interoperabilnosti med računalniškimi sistemi

UVOD

Lorem ipsum dolor sit amet, cum te dictas aeterno, ut cum paulo abhorreant. Vim ea commodo convenire, ne mei choro imperdiet repudiandae. Pri et quot nihil appetere, ad nam putent conclusionemque. Choro laudem nec no. Sed ei veniam essent deleniti.

# SATELITSKI POSNETKI

V prejšnem poglavju smo dokazali kako pomembno je, da organizacija ustrezno zbira in hrani različne podatke, ki jih lahko v prihodnosti uporabi za izboljšanje poslovanja. Pri upravljanju z podatki pa se organizacija ne sme omejevati zgolj na sebe. V prihodnosti bodo bile najbolj uspešne tiste organizacije, ki bodo znale uporabiti tudi zunanje podatkovne vire za obogatitev svoje zbirke ali pa njihovo popolno nadomestitev.

V primeru upravljanja z vodnimi viri organizacije navadno uporabljajo merilce za merjenje različnih atributov vodnih virov kot so višine vodne gladine, moč vodnega toka in drugih lastnosti. Strojni merilci zahtevajo redno vzdrževanja od čiščenja in popravila do zamenjave. Upravljalci vodnih virov običajno delujejo na širšem geografskem področju zato lahko vzdrževanje omrežja merilcev močno pripomore k povečanju operativnih stroškov.

Leta 1975 je Evropska unija ustanovila svojo Evropsko vesoljsko agencijo (angl. European Space Agency - ESA). Eden najbolj uspešnih vesoljskih projektov agencije je gotovo program Copernikus katerega cilj je skozi satelite slikanje in zbiranje podatkov iz zemljine površine. Pridobljeni podatki se uporabljajo na različnih področjih od analiziranja kmetiskih dejavnosti in varnostnih tveganj do analiziranja podnebnih sprememb. (Directorate-General for Communication, 2015)

Program Copernikus pa je širši javnosti zanimiv predvsem zato ker so vsi zbrani podatki iz satelitov prosto dostopni v raziskovalne in komercialne namene. V različnih obdobjih je Evropska komisija sicer pretresala različme omejitve nad podatki a vse študije so pokazale, da podatki zbrani preko programa močno spodbujajo visokotehnološke inovacijske znotraj EU zato bodo podatki tudi v prihodnje ostali popolnoma brezplačni in vsakomur dostopni po načelu imenovanem FFO oziroma polno, brezplačno, odprto (ang. full, free and open). (Margarit & Yagüe, 2020)

Zato podatkovna zbirka Copernikus zagotovo predstavljajo izjemen potencial tudi na področju upravljanja z vodnimi viri. V tem poglavju bomo preverili možnosti nadaljne izbolšave prototipa za napovedovanje količine vode z uporabo satelitskih posnetkov. Prav tako bomo preverili potencial popolne zamenjave strojnih merilcev z satelitksimi posnetki.

TODO TUKAJ DODAJ ŠE MALO BOLJ KONKRETNO

## Satelita Sentinel-2

Sentinel-2 je misija programa Copernikus v okviru katere je ESA leta 2015 in 2017 v vesolje izstrelila dva satelita. Satelita tehtata pribljižno 1.2 toni in njuna pričakovana življenska doba je malo več kot 7 let. Satelita sinhrono krožita na nadmorski višini 786 kilometrov in sta med seboj razmaknjena za 180°. Satelita nadzirata veliko večino zemeljskega površja (označeno z ne sivo barvo na spodnji sliki) in vsako geografsko točko eden izmed satelitov preleti najskasneje vsakih 5 dni. Ob vsakem preletu satelit zajema podatke iz 13 različnih senzorjev na vidnem polju širokem 290 kilometrov. (European Space Agency, 2015)

Slika : Prikaz opazovanega zemeljskega površka z strani satelita Sentinel-2

Map

Description automatically generated

Vir: European space agency (2015).

Tabela : Tehnični podatki optičnih senzorjev na satelitu Sentinel-2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Oznaka in ime senzorja** | **Centralna valovna dolžina (nm)** | **Ločljivost (m)** |
| 1 - Coastal aerosol | 442 | 60 |
| 2 - Blue | 492 | 10 |
| 3 - Green | 559 | 10 |
| 4 – Red | 664 | 10 |
| 5 – Vegetation Red edge | 704 | 20 |
| 6 – Vegetation Red edge | 740 | 20 |
| 7 – Vegetation Red edge | 782 | 20 |
| 8 – NIR | 838 | 10 |
| 8A – Narrow NIR | 864 | 20 |
| 9 – Water vapour | 945 | 60 |
| 10 – SWIR | 1373 | 60 |
| 11 – SWIR | 1613 | 20 |
| 12 – SWIR | 2202 | 20 |

Vir: European space agency (2015).

## Pridobivanje satelitskih posnetkov

Satelita Sentinel-2 z svojimi 13 senzorji dnevno ustvarita približno 2.4 terabajta surovih kompresiranih podatkov. Podatki so poslani iz satelitov v Evropski inštitut za raziskave vesolja (angl. ﻿European Space Research Institute – ESRIN), ki se nahaja v mestu Frasciti v Italiji. Znotraj centra deluje zemeljski segment za procesiranje podatkov (angl. Payload Data Ground Segment – PDGS) kateri je zadolžen za pretvarjanje surovih podatkov skozi več nivojev procesiranja v končno obliko, ki je naposled tudi na voljo vsem uporabnikom. (European Space Agency, 2015)

### Večnivojsko procesiranja satalitskih slik

PDGS pretvori prejete satelitske podatke v realnem času skozi več kompleksnih nivojev. Vsak nivo je sestavljen iz številnih podnivojev. Izhodni podatki vsakega nivoja so uporabljeni za nadaljne procesiranje v višjem nivoju. (European Space Agency, 2015)

Groba predstavitev nivojev procesiranja satelitskih slik so:

Nivo 0 surovim slikam doda meta-podatke in jih pripravi za nadaljno procesiranje.

Nivo 1A prejme rezultate nivoja 0 ter dekompresira podatke, točkam na sliki dodeli geolokacijske informacije.

Nivo 1B je prvi nivo do katerega lahko dostopajo zunanji uporabniki. Podatke se nadaljno preprocesira in z različnimi algoritmi odstrani potencialne šume.

Nivo 1C nadaljuje procesiranje ter transformira slike iz orbite po kateri je potoval satelit v markatorjevo projekcijo. Slikam se dodeli odstotek oblačnosti in druge atribute.

Nivo 2A je zadnji nivo z največjo dovršenostjo, ki pa ga si ga mora zgenerirati uporabnik sam, za to lahko sicer uporabi programsko opremo, ki jo ponuja ESA.

Slika : Prikaz Sentinel-2 slik v nivoju 1B (levo) in 1C (desno)

A picture containing graphical user interface

Description automatically generated

Vir: European Space Agency (2015)

### SentinelHub

Končni uporabniki Sentinel-2 navadno ne pridobivajo podatkov neposredno od agencije ESA temveč uporabljajo različne posrednike, eden izmed njih je tudi slovensko podjetje Sinergise. Podjetje Sinergise je z svojo platformo Sentinel Hub eden izmed vodilnih ponudnikov tovrstnih storitev v svetu, svojim uporabnikom med drugim omogočajo:

* Poenostavljen dostop do satelitskih podatkov preko različnih kanalov (spletna aplikacija, REST API,...).
* Poizvedovanje po kraju in času, optičnemu senzorju ter drugih lastnostih kot je na primer odstotek oblačnosti na satelitski sliki.
* Možnost pred-procesiranja podatkov z poljubnimi programi na njihovi strežniški infrastrukturi.
* Podatke ponuja že pripravljene v zadnjem nivoju 2A.
* Odprtokodno Python knjižnico za lažje lokalno obdelovanje satelitskih podatkov.

V kolikor bi podatke pridobivati neposredno od ESA vmesnikov bi le te bili v bolj surovi obliki in manj pripravljeni za nadaljno uporabo. Prav tako bi bili sami primorani implementirati različne poizvedbe za kar pa bi potrebavali mnogo več pomnilnika in procesorske moči.

Zaradi naštetih razlogov bomo za pridobitev podatkov uporabili Python knjižnico »eo-learn« ter iz portala Sentinel Hub REST API vmesnika pretočili vse Sentinel-2 slike jezera Bilancino z okolico. Z poizvedbo bomo odstranili slike kjer je oblačnost več kot 10 odstotna. Slike podo procesirane na nivoju 2A prav tako bom pridobili le podatke optičnih senzorjev katere bomo koristili za izdelavo modela (2, 3, 4, in 8A). V obdobju od 1.1.2015 do 1.1.2021 tako prejmemo 70 slik, ki ustrezajo našim kriterijem.

Slika : Jezero Bilancino z okolico na dan 15.11.2016

A close up of a leaf

Description automatically generated with low confidence

Vir: Lastno delo.

## Pridobivanje informacij z satelitskih posnetkov

Referenceri numpy ker sem uporabljal matrične operacije za pohitritev izvajanja. (Harris idr., 2020)

Razvoj generičnega algoritma ki bi lahko iz površinskega vodnega vira ocenil količino vode

Težava je nelinearnost med površino in globino, Sentinel-2 lahko meri v globino vendar je omejen in ni primeren za globoka jezera.

Da bi ugotovili ali satelitski podatki nosijo kakršnokoli vredno informacijo, ki bi nam pomagala pri napovedovanju vodne gladine moramo iz slik izločiti uporabne

Referenceri druge raziskave od: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1487> (Pena-Regueiro, Sebastiá-Frasquet, Estornell, & Aguilar-Maldonado, 2020)

Tukaj napiši da iščemo lastnosti iz satelitskih posnetkov ki imajo močno korelacijo z vodno gladino.

### Indeks NDVI

Normirani diferencialni vegetacijski indeks (angl. Normalised difference vegegation index – NDVI) je indeks, ki prikazuje količino vegetacije na zemlji. Velja za enega izmed najbolj popularnih in razširjenih indeksov za opazovanje vegetacije. Indeks je izračunan iz Sentinel-2 senzorjev kot razmerje med bližnjim infrardečim (oznaka 8A) in rdečim (oznaka 4) spektralnim senzorjem po enačbi (1). Živo rastlinje močneje odbija svetlobo blizu infrardečega spektra med tem, ko druge površine absorbirajo rdečo svetlobo. Rezultat je predstavljen na intervalu od -1 do +1, višja kot je vrednost indeksa bolj intenzivna je vegetacija na zemlji. (National Aeronautics and Space Administration - NASA, 2000)

(1)

Spodnja slika prikazuje v zgornji vrstici dan z najmanjšo odmerjeno povprečno vrednostjo indeksa NDVI ter na spodnji dan z največjo. V levem stolpcu vidimo klasično barvno sliko, v desnem pa indeks NDVI z vrednostmi od -1 do +1. Z prostim očesom lahko opazimo tudi razlike v vegetaciji, na prvi sliki je zemlja rjave barve na drugi pa vidimo veliko več zelene vegetacije.

Slika 5: Prikaz delovanja indeksa NDVI na jezeru Bilancino.

A picture containing calendar

Description automatically generated

Vir: Lastno delo

### Indeks NDWI

Normirani diferencialni vodni indeks (angl. Normalised difference water index – NDVI) je indeks z katerim lahko na sliki prepoznamo vodo. Poznamo dve različici, prva različica je nadgradnja indeksa NDVI in se uporablja za odkrivanje vode v vegetaciji, na voda v listih dreves (Gao, 1996).

Druga različica indeksa pa se uporablja za odkrivanje površinskih vodnih teles na zemlji. Indeks izračunamo kot razmerje med zelenim in bližnjim infrardečim spektrom kot prikazuje enačba (2) Rezultat indeksa je vrednost na intervalu med -1 in +1, večja kot je vrednost bolj verjetna je prisotnost vode na sliki, načeloma pa lahko smatramo, da vrednosti nad 0.3 skoraj zagotovo predstavljajo vodo. (McFeeters, 1996)

(2)

Na spodnji sliki vidmio delovanje indeksa NDWI. Opazimo lahko kako različne barve je lahko vodna gladina jezera, vidni so tudi šumi, ki nastajajo na slikah zaradi zunanjih naravnih dejavnikov. V zgornji vrstici je vzrok šuma rahel oblak, v drugi vrstici pa umazanija ali alge na vodni gledini.

Slika : Prikaz delovanja indeksa NDWI na jezeru Bilancino.

A picture containing map

Description automatically generated

Vir: Lastno delo.

## Ocenjevanje pridobljenih informacij

Summo ornatus ocurreret duo at. An nulla maiestatis vix, graece fuisset detraxit eum id. Modus nonumy conclusionemque cu nec, regione tibique pro cu, vel ne mutat facer vitae. Vim case iusto et, et pro nonumy delicata, ad pro tota essent. Id periculis conceptam dissentiunt per, at quidam electram signiferumque nam, usu utinam efficiendi at.

## Obogatitev napovedovalnega modela

Summo ornatus ocurreret duo at. An nulla maiestatis vix, graece fuisset detraxit eum id. Modus nonumy conclusionemque cu nec, regione tibique pro cu, vel ne mutat facer vitae. Vim case iusto et, et pro nonumy delicata, ad pro tota essent. Id periculis conceptam dissentiunt per, at quidam electram signiferumque nam, usu utinam efficiendi at.

## Zamenjava merilcev vode

Summo ornatus ocurreret duo at. An nulla maiestatis vix, graece fuisset detraxit eum id. Modus nonumy conclusionemque cu nec, regione tibique pro cu, vel ne mutat facer vitae. Vim case iusto et, et pro nonumy delicata, ad pro tota essent. Id periculis conceptam dissentiunt per, at quidam electram signiferumque nam, usu utinam efficiendi at.

SKLEP

Eu nibh legendos qualisque eam, elitr nemore liberavisse ut qui, putant ceteros similique his ex. Inimicus facilisis elaboraret et sea, nam at case aeterno, dictas instructior vix id. Velit latine usu no, mel alienum principes comprehensam ut. Vel autem sapientem ne, eos cu eros singulis facilisis.

LITERATURA IN VIRI

Directorate-General for Communication. (2015). *Copernicus: Europe’s eyes on earth*. 23. https://doi.org/10.2873/93104

European Space Agency. (2015). *Sentinel-2 User Handbook* (1. izd.; B. Hoersch, Ur.). European Space Agency. Pridobljeno od https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2\_User\_Handbook.pdf/8869acdf-fd84-43ec-ae8c-3e80a436a16c?t=1438278087000

Gao, B. C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, *58*(3), 257–266. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3

Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., … Oliphant, T. E. (2020). Array programming with {NumPy}. *Nature*, *585*(7825), 357–362. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2

Margarit, G., & Yagüe, J. (2020). *Study on the Copernicus data policy post 2020*. *5.0*(386). Pridobljeno od https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2019-04/Study-on-the-Copernicus-data-policy-2019\_0.pdf

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, *17*(7), 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714

National Aeronautics and Space Administration - NASA. (2000). Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Pridobljeno 14. marec 2021., od https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\_vegetation\_2.php

Pena-Regueiro, J., Sebastiá-Frasquet, M. T., Estornell, J., & Aguilar-Maldonado, J. A. (2020). Sentinel-2 application to the surface characterization of small water bodies in Wetlands. *Water (Switzerland)*, *12*(5). https://doi.org/10.3390/w12051487

PRILOGE

Priloga : Ne aeterno civibus assentior sit, ne ius homero soleat pertinacia.

Eam inani populo vidisse no, eum veritus alienum instructior ex. Zril deterruisset ut has, pro omittam forensibus in. Pro cu melius sensibus. Ut munere eripuit est, usu ut autem eruditi propriae.

Gloriatur forensibus concludaturque ius ea. Pro latine facilisis ex, brute semper vel an. Cum liber neglegentur in. Id pri alterum periculis accommodare, munere doctus voluptua ius ne. Usu postea cetero placerat in, usu purto wisi ex. Quis ludus appareat id pri, nec no dolorum lucilius, ius aliquam mandamus an.

Ea justo indoctum dissentiet his, clita omnium legendos no est. An nonumes insolens torquatos vel, est ex erat forensibus incorrupte. Id est alia labores. Ei nec simul utamur.

Est dicat aperiam scripserit in. Qui cu illud persequeris. Sit labitur adversarium cu, zril placerat sea ne, an pri exerci soleat ullamcorper. Ea assum tation scaevola qui, labore labores nominavi duo ex. Per ut sumo rebum atomorum, cum nihil petentium in, probo liber offendit te sed. Sonet graeco ius no.

Vix in aperiri noluisse. Integre docendi usu ei, ei quo corpora blandit. Nibh impetus vis ad, nostrud pertinacia pro an, aperiri adipiscing vim ex. Ut tale nemore iudicabit vis, ex usu noster omittantur. Ex quo wisi pericula delicatissimi, unum illum duo in. Omnesque recteque eum ex.

Saepe saperet constituam id pri. No decore mandamus sea. Dicant tempor prompta ius at. Qui sint posidonium ut.

Id mazim dicant viderer qui, unum consectetuer nam at, pro minim luptatum cu. Salutandi vituperatoribus sit eu, sed choro affert intellegat ut. Accusam patrioque assentior an duo. Ei pri ludus labitur commune. Vix ea viris persecuti consetetur, in convenire suscipiantur sed. Vim salutatus efficiantur eu, in nec ignota legendos elaboraret, illud partiendo efficiendi vim in.

Ut possim dignissim his, per autem simul tantas eu, his facilisis contentiones te. Error vitae at nam. Eos at enim reque volutpat. Sea id graece putant principes. Ornatus expetendis usu id, rebum nullam tamquam ad pri.

Sit ei oblique suscipiantur. Ne eos appareat prodesset definiebas. Sea cu quas graeco democritum, purto quodsi commodo pri an. Mea posse equidem comprehensam eu, eos et aeque habemus. Legere primis qualisque ad mel, mel partem maiorum torquatos ex.