

# Monitoring promjene vegetacije na području Grada Jastrebarsko korištenjem multispektralnih snimaka Sentinel 2

---

Mesic, Lara

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:507581>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-31**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

MONITORING PROMJENE VEGETACIJE NA PODRUČJU GRADA  
JASTREBARSKO KORIŠTENJEM MULTISPEKTRALNIH SNIMAKA SENTINEL 2

Diplomski rad

Lara Mesic

GI475

Zagreb, 2023.



KLASA: 602-01/23-01/156  
URBROJ: 251-70-15-23-2  
U Zagrebu, 11. 9. 2023.

Lara Mesic, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/156, URBROJ: 251-70-15-23-1 od 3. 7. 2023. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### MONITORING PROMJENE VEGETACIJE NA PODRUČJU GRADA JASTREBARSKO KORIŠTENJEM MULTISPEKTRALNIH SNIMAKA SENTINEL 2

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc. dr. sc. Ivan Medved nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

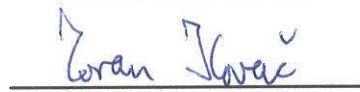


(potpis)

Doc. dr. sc. Ivan Medved

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:




(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i  
studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

MONITORING PROMJENE VEGETACIJE NA PODRUČJU GRADA  
JASTREBARSKO KORIŠTENJEM MULTISPEKTRALNIH SNIMAKA SENTINEL 2

Lara Mesic

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko – geološko – naftni fakultet  
Zavod za geofizička mjerenja i rudarska mjerenja  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Ovaj se diplomski rad temelji na primjeni daljinskih istraživanja. Osnovni cilj je na temelju prikupljenih satelitskih snimaka iz misije Sentinel 2 izračunati vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI) za određene datume u vremenskom periodu od tri godine. Usporedbom srednjih NDVI indeksa za svaku pojedinu snimku mogu se pratiti promjene u vegetaciji. Izračun NDVI indeksa i prikazi snimka napravljeni su u QGIS-u.

Ključne riječi: Grad Jastrebarsko, daljinska istraživanja, misija Sentinel 2, QGIS,  
Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI), promjena vegetacije

Diplomski rad sadrži: 35 stranica, 4 tablice, 21 sliku i 22 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: dr.sc. Ivan Medved, docent RGNF-a

Ocjenjivači: dr. sc. Ivan Medved, docent RGNF-a  
dr. sc. Jasna Orešković, izvanredna profesorica RGNF-a  
dr. sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF-a

Datum obrane: 18. 9. 2023., Rudarsko – geološko – naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

VEGETATION MONITORING IN THE JASTREBARSKO CITY AREA USING  
MULTISPECTRAL SENTINEL 2 IMAGERY

Lara Mesic

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geophysical Exploration and Mine Surveying  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

This master's thesis is based on the application of remote sensing techniques. The primary objective is to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) based on collected satellite imagery from the Sentinel 2 mission for specific dates within a three-year time period. By comparing the average NDVI indices for each individual image, changes in vegetation can be monitored. The calculation of NDVI indices and image visualization was performed using QGIS

Keywords: City of Jastrebarsko, remote sensing, Sentinel 2 mission, QGIS,  
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), vegetation change

Thesis contains: 35 pages, 4 tables, 21 figures and 22 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Ivan Medved, PhD

Reviewers: Assistant Professor Ivan Medved, PhD  
Associate Professor Jasna Orešković, PhD  
Associate Professor Tomislav Korman, PhD

Defence date: September 18, 2023., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
University of Zagreb

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. GRAD JASTREBARSKO .....	2
2.1. Geološke značajke .....	4
3. TEORIJSKE OSNOVE RADA.....	7
3.1. Daljinska istraživanja .....	7
3.2. Copernicus i misije Sentinel .....	8
3.3. Sentinel-2.....	9
3.4. QGIS.....	13
4. METODOLOGIJA .....	15
5. PRIKUPLJANJE PODATAKA .....	18
6. OBRADA PODATAKA .....	23
7. REZULTATI .....	27
7.1. Primjer korištenja NDVI indeksa .....	31
8. ZAKLJUČAK.....	33
9. LITERATURA .....	34

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Položaj grada Jastrebarsko unutar granica Zagrebačke županije (Grad Jastrebarsko, 2023.) .....	2
Slika 2-2. Grad Jastrebarsko sa svojim okolnim naseljima (Boričević, 2020).....	3
Slika 2-3. Digitalizirana OGK grada Jastrebarsko u mjerilu 1:100 000; List Zagreb (Šikić i sur., 1972) i List Karlovac (Beneček i sur., 1989), preuzeto od Boričević, 2020. ....	5
Slika 3-1. Vizualni prikaz daljinskih istraživanja (SketchBubble, 2023).....	7
Slika 3-2. Orbitalna konfiguracija blizanaca-satelita SENTINEL-2 (ESA, 2023).....	10
Slika 3-3. a) CSM mehanizam MSI instrumenta s prikazom difuzora za kalibraciju prema suncu. b) Fokalna ravnina za NIR (ESA, 2023) .....	11
Slika 4-1. Prikaz izračuna NDVI-a (EOS, 2023) .....	16
Slika 5-1. Filteri i odabrano područje .....	18
Slika 5-2. Odabrani kriteriji.....	19
Slika 5-3. Prikaz multispektralnih snimaka prema zadanim kriterijima (Copernicus Open Access Hub, 2023).....	20
Slika 5-4. Prozor koji prikazuje detalje proizvoda .....	21
Slika 5-5. Slikovni prikaz skupa datoteka i direktorija koji sadrže informacije o snimkama i metapodatke (ESA, 2023).....	22
Slika 6-1. Jednadžba za računanje NDVI indeksa pomoću Raster Calculatora .....	23
Slika 6-2. NDVI indeks za datum 25.4.2020. godine.....	24
Slika 6-3. NDVI indeks za datum 10.5.2021. godine.....	25
Slika 6-4. NDVI indeks za datum 15.5.2022. godine.....	25
Slika 7-1. NDVI indeksi za 25.4.2020., 10.5.2021. i 15.5.2022. godine .....	27
Slika 7-2. NDVI indeksi veći od 0,6 .....	29
Slika 7-3. NDVI indeksi veći od 0,3 .....	30
Slika 7-4. Mikrolokacija istraživanja.....	31
Slika 7-5. Prikaz NDVI-a za snimke: a)25.4.2020. godine i b)15.5.2022. godine.....	32

## POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Valne duljine i širine pojaseva za tri prostorne razlučivosti MSI instrumenata (ESA, 2023).....	12
Tablica 3-2. Usporedba Sentinel-2 sa LANDSAT-om i SPOT-om (ESA i USNA, 2023). 13	
Tablica 5-1. Datum prikupljenih Sentinel-2A snimaka.....	20
Tablica 6-1. Minimalne, maksimalne te srednje vrijednosti NDVI-a .....	26



## 1. UVOD

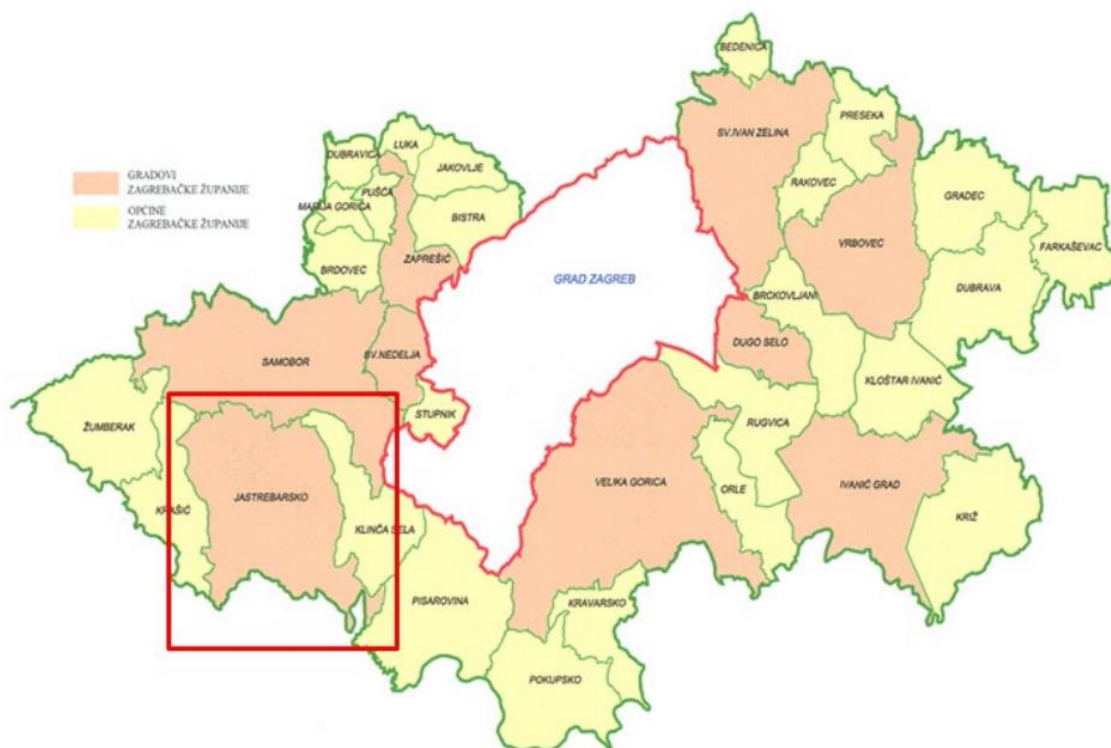
Daljinska istraživanja imaju veliku važnost u svakodnevnom razumijevanju i proučavanju Zemlje, a tako i okoliša. Ključan su alat koji omogućuje prikupljanje podataka sa velikih udaljenosti, tj. bez fizičkog kontakta. Podaci prikupljeni iz daljinskih istraživanja pružaju mogućnost analize velikih geografskih područja na brz i učinkovit način, što je velika prednost, posebice u teško dostupnim područjima. Ti se podaci primjenjuju u raznim znanstvenim područjima kao što su geografija, geodezija, ekologija, poljoprivreda, urbanističko planiranje, monitoring klime itd.

U radu se primjenjuju daljinska istraživanja, s naglaskom na korištenje Sentinel 2 misije. Ta je misija razvijena od strane Europske svemirske agencije i dio je skupa misija pod zajedničkim imenom Sentinel. Prikupljanjem multispektralnih snimaka iz spomenute misije, izračunati su Vegetacijski indeksi normalizirane razlike (NDVI indeksi). Oni omogućuju monitoring zdravlja vegetacijskog pokrova, otkrivanje promjena u vegetaciji, identifikaciju suše, bolesti biljaka i drugih ekoloških faktora. Analiza NDVI indeksa omogućuje lakše donošenje odluka o upravljanju okolišem i prirodnim resursima.

Cilj diplomskog rada jest usporedba NDVI indeksa kroz vremensko razdoblje od tri godine, odnosno monitoring promjena u vegetaciji u navedenom razdoblju. Postupak računanja NDVI indeksa, kao i prikazi karata područja istraživanja dobiveni su pomoću softvera Quantum GIS (QGIS).

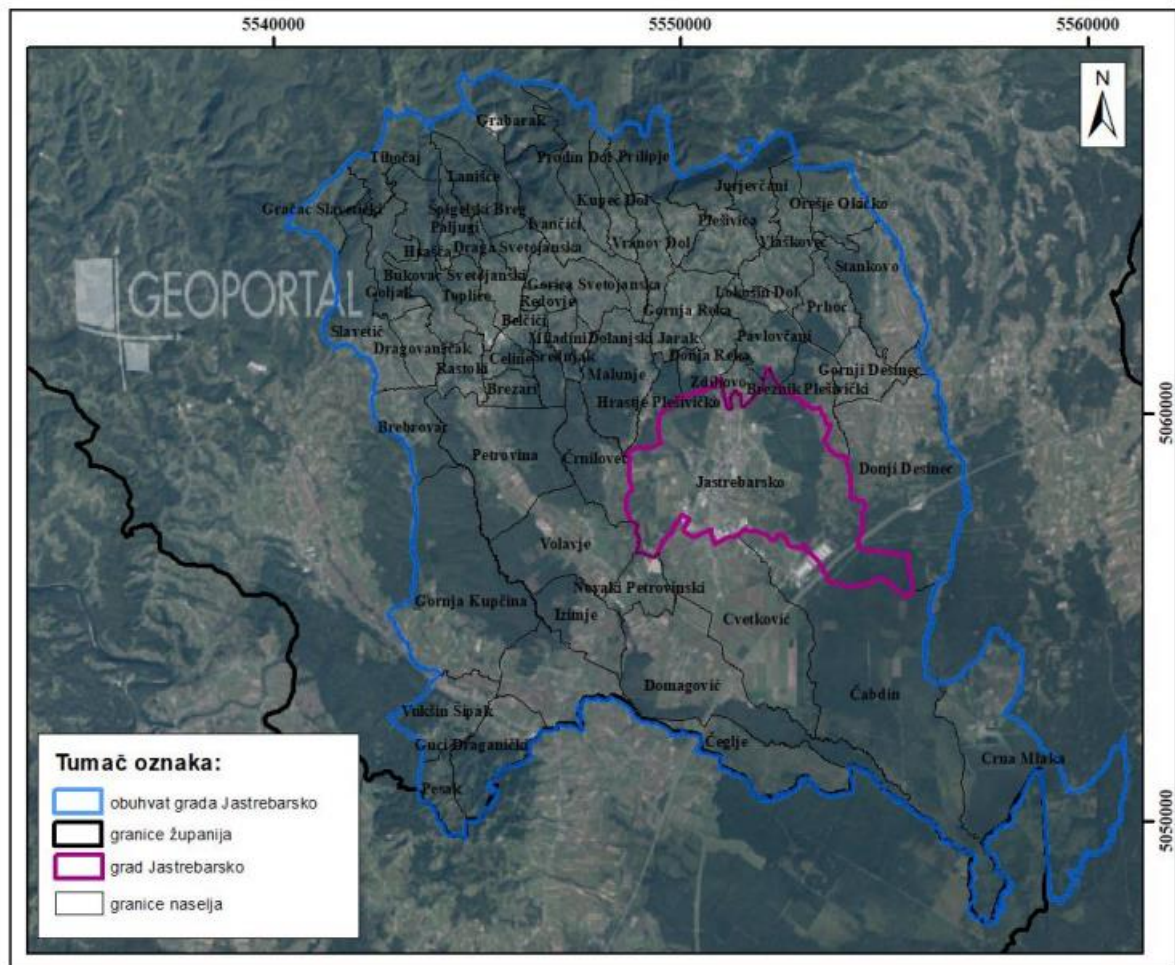
## 2. GRAD JASTREBARSKO

Grad Jastrebarsko nalazi se u središnjoj Hrvatskoj, na jugozapadu Zagrebačke županije. Na istočnoj strani graniči s općinama Pisarovina i Klinča Sela, dok na zapadu graniči s općinom Krašić. Na jugu dijeli granicu s Karlovačkom županijom, a na sjeveru s gradom Samoborom (Slika 2-1.).



Slika 2-1. Položaj grada Jastrebarsko unutar granica Zagrebačke županije (Grad Jastrebarsko, 2023)

Sa svojih 59 okolnih naselja zauzima površinu od 229 km<sup>2</sup>, a samo gradsko područje prostire se na 20 km<sup>2</sup>, što ukupno čini 7,4% površine Zagrebačke županije (Slika 2-2.). Prema popisu stanovništva iz 2021. godine, u gradu Jastrebarsko živi oko 14 500 stanovnika (DZS, 2023).



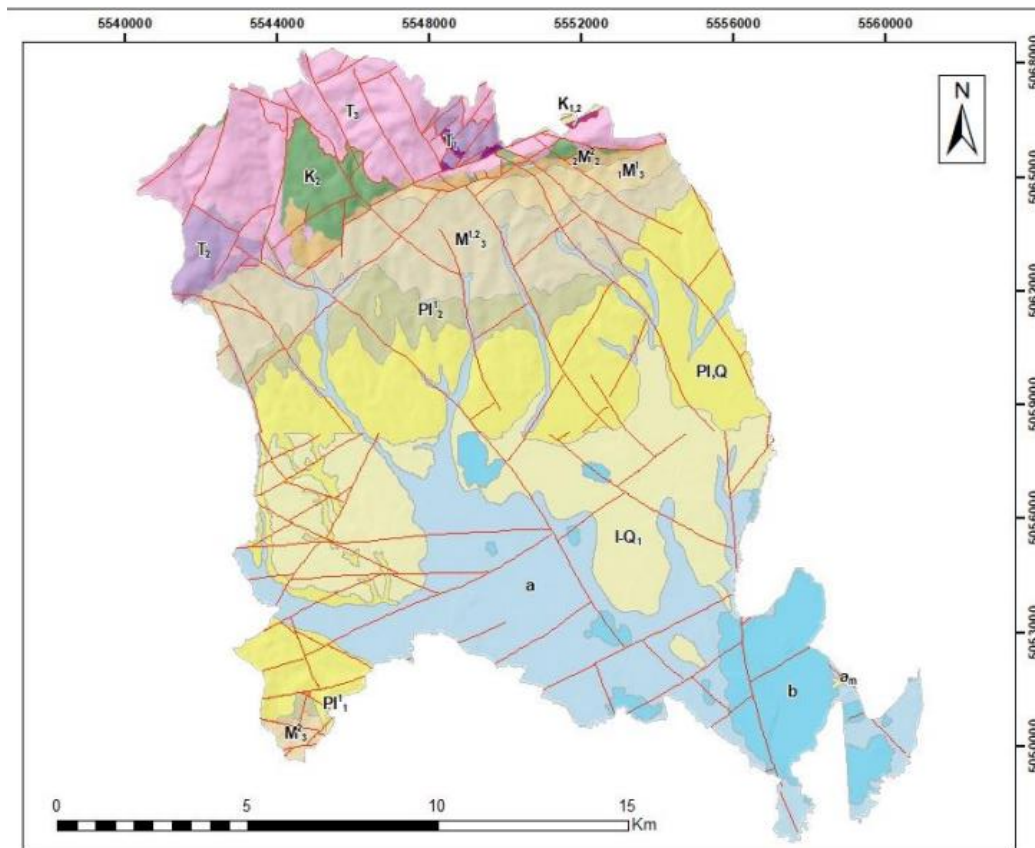
Slika 2-2. Grad Jastrebarsko sa svojim okolnim naseljima (Boričević, 2020)

Na istraživanom prostoru razlikuju se tri prirodne cjeline: vapnenačko-dolomitni masiv Žumberačke gore, koji jugoistočno prelazi u brežuljkasto Prigorje, a zatim u nizinsko Pokuplje. Južni obronci Samoborskog i Plešivičkog gorja iznimno su važni za grad Jastrebarsko budući da se tamo nalaze izvorišta bitna za vodoopskrbu grada. To su uglavnom izvorišta vezana uz krške vodonosnike, odnosno trijaskе dolomite. Hidrografska mreža slabo je razvijena, sastoji se od površinskih tokova koji za vrijeme sušnih razdoblja ostaju bez vode. Na području istraživanja nalaze se jezera Novaki, Gović i Dubrava te Crna Mlaka koja je posebni ornitološki rezervat. Najviši vrh Samoborskog gorja je Japetić (Grad Jastrebarsko, 2023). Budući da se grad Jastrebarsko nalazi u Zagrebačkoj županiji, dijeli slične klimatske karakteristike kao i ostatak tog područja. Prema Köppenovoj klasifikaciji ovo područje pripada klimatskom području „Cfwbx“, odnosno klima je umjereno topla kišna.

## 2.1. Geološke značajke

Strukturna građa i tektonski odnosi područja istraživanja posljedica su odnosa Žumberka i Samoborskog gorja. Kroz geološku prošlost, navedeni prostori bili su izloženi dinamičnim geotektonskim kretanjima. Razlikuju se dvije tektonske jedinice: *Autohton Žumberka* i *Žumberačko - medvednička navlaka*. *Autohton Žumberka* čine tektonizirane stijene starosti od srednjeg perma do paleogena, dok *Žumberačko - medvedničku navlaku* čine trijaski, jurski i kredni sedimenti koji su tijekom savske orogeneze navučene preko *autohtona Žumberka* (Vujnović, 2010). Prema Tomljenoviću (2002), zabilježeno je nekoliko deformacijskih događaja tijekom geološke povijesti paleozojskih i mezozojskih naslaga Samoborskog gorja. Prvi deformacijski događaj, koji se dogodio u paleocenu i eocenu, doveo je do formiranja reversnih rasjeda, bora i povezanih struktura koje se pružaju u smjeru sjever-sjeverozapad s translacijom krovine prema zapad-jugozapadu. Drugi deformacijski događaj odnosi se na egenburško-otnangsku ekstenziju u smjeru sjeveroistok-jugozapad, što je rezultiralo formiranjem normalnih rasjeda koji se pružaju sjeverozapadno. Treći deformacijski događaj obuhvaća ekstenziju sjeverozapad-jugoistok i kompresiju sjeveroistok-jugozapad tijekom karpatsko-baden-sarmatskog razdoblja. Rezultat tog događaja su konjugirani normalni rasjedi i lijevi rasjedi sjeveroistok pružanja, kao i desni rasjedi sjeverozapad pružanja. Četvrti deformacijski događaj je kompresija sjever-jug u gornjem pont-recentnom razdoblju, što je rezultiralo stvaranjem koljeničastih bora koje se pružaju prema zapadu.

Obuhvat grada Jastrebarsko prostire se na dva lista Osnovne geološke karte (OGK) u mjerilu 1:100 000, a to su listovi Zagreb (Šikić i sur., 1972) i Karlovac (Beneček i sur., 1989). OGK grada Jastrebarsko nalazi se na slici 2-3.



**Tumač oznaka:**

— rasjedi	
<b>b</b>	1: holocen; bara-mulj, glina, silt
<b>am</b>	2: holocen; mrtvaja-silt, gline, pijesci, organogeni mulj
<b>a</b>	3: holocen; aluvij-pijesci, pjeskovite gline, gline, šljunci, silt, barski talozi
<b>I-Q1</b>	4: pleistocen; ?wurm-beskarbonatni kopneni les; silt
<b>PI,Q</b>	5: pliokvartar; pijesci, šljunci, gline, pješčenjaci i konglomerati
<b>P2</b>	6: pliocen; pijesci, lapori, pješčenjaci, konglomerati, gline i ugljen
<b>P1</b>	7: pliocen; lapori, pijeci, gline
<b>M2,3</b>	8: miocen; panon- vapnoviti lapori, pijesci, pješčenjaci, konglomerati, vapnenci i gline
<b>M1,2,3</b>	9: miocen; panon-vapnoviti lapori, pijesci, pješčenjaci, konglomerati i breče
<b>M1,3</b>	10: miocen; donji sarmat- laporoviti vapnenci, vapnoviti, glinoviti i kremični lapori
<b>M2,2</b>	11: miocen; gornji torton-vapnenci, pješčenjaci, lapori, bazalne breče i konglomerati
<b>K2</b>	12: gornja kreda; breče, konglomerati, šejl, lapori, vapnenci, rožnjaci
<b>K1,2</b>	13: donja kreda; apt,turon- grauwake, šejl, lapori, vapnenci i rožnjaci
<b>T3</b>	14: gornji trijas- vapnoviti dolomiti stromatolitnog tipa, ulošci šejla, vapnenci i dolomitizirani vapnenci
<b>T2</b>	15: srednji trijas- uslojeni dolomiti, dolomitizirani vapnenci, ulošci vapnenaca, lapora, šejla i rožnjaka
<b>T1</b>	16: donji trijas- subarkoze, tinjčasti siliti, vapnenci, dolomiti, dolomitizirani vapnenci i lapori

Slika 2-3. Digitalizirana OGK grada Jastrebarsko u mjerilu 1:100 000; List Zagreb (Šikić i sur., 1972) i List Karlovac (Beneček i sur., 1989), preuzeto od Boričević, 2020.

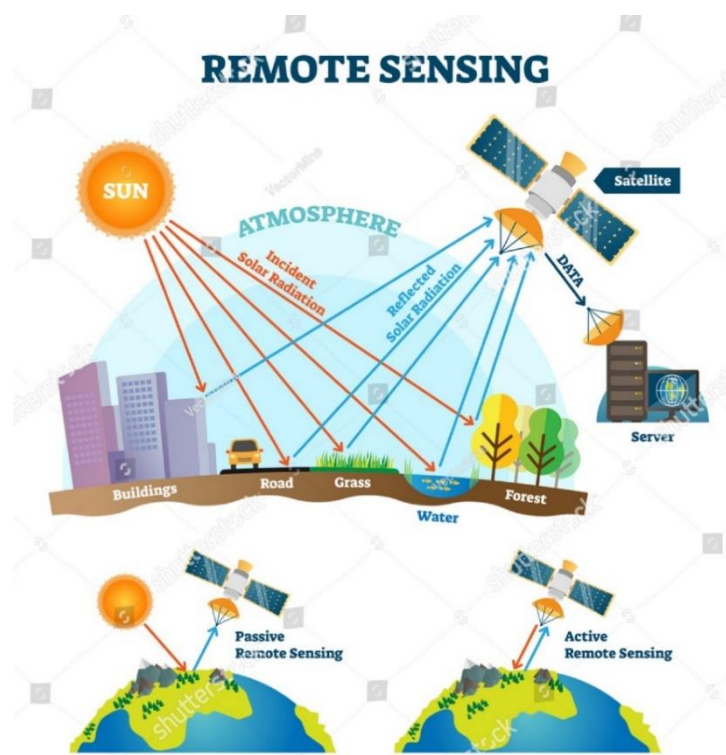
Prema navedenoj slici, najstarije stijene su donjotrijaske ( $T_1$ ) starosti. To su uglavnom pješčenjaci, vapnenci i siliti, koji se nalaze na sjevernom dijelu područja istraživanja. Srednjotrijaske ( $T_2$ ) i gornjotrijaske ( $T_3$ ) stijene su većinom dolomiti sa proslojcima šejlova i vapnenaca, koje dominiraju na sjeverozapadu Jastrebarskog. Kredne naslage ( $K_{1,2}$ ) karakterizira vulkanogeno-sedimentni kompleks sa pješčenjacima, šejlovima i vapnencima. Gornjokredne ( $K_2$ ) naslage nalaze se sjeveroistočno, a to su breče i konglomerati. Osim ovih stijena, prisutni su i proslojci vapnenaca, rožnjaka i šejlova. Najstarije miocenske naslage su

naslage gornjeg tortona ( $2M_2^2$ ). Čine ih marinske naslage. Zatim slijede donjosarmatske ( $1M_3^1$ ) stijene izgrađene od vapnenaca i pješčenjaka. Panonske naslage ( $M_3^{1,2}$ ) uglavnom prekrivaju naslage donjeg sarmata, a čine ih konglomerati, breče i pješčenjaci. Naslage donjeg pontaa ( $Pl_3^1$ ) čine lapori i laporovite gline, dok su gornjopontske ( $Pl_1^2$ ) naslage izgrađene od pijeska, lapora i glina. Jedne od najrasprostranjenijih naslaga su naslage donjopleistocenske starosti ( $Pl, Q$ ) te se nalaze na oba lista. Predstavljaju ih pijesci i šljunci. Beskarbonatni kopneni les kvartarne ( $I - Q_I$ ) starosti zauzima značajnu površinu unutar područja istraživanja. Holocenske aluvijalne (**a**) i barske (**b**) naslage prekrivaju velik dio istraživnog područja. Nalaze se u području plavljenja rijeke Kupe te oko Crne Mlake. Još valja spomenuti i mrtvaje (**a<sub>m</sub>**), oblici koji predstavljaju napuštene dijelove riječnih korita.

### 3. TEORIJSKE OSNOVE RADA

#### 3.1. Daljinska istraživanja

Daljinska istraživanja su naziv za sve metode koje se koriste za prikupljanje podataka na udaljenosti od objekta koji se proučava pomoću neke vrste snimajućeg uređaja (Mårtensson, 2011). Svako tijelo na površini Zemlje emitira elektromagnetsku energiju određene frekvencije i valne duljine. Ta emitirana energija uglavnom je rezultat Sunčevog zračenja i ovisi o karakteristikama objekata, poput njihovog sastava, boje, sposobnosti apsorpcije Sunčeve energije i sposobnosti emitiranja vlastite energije. Dio emitirane energije gubi se prolaskom kroz slojeve atmosfere, dok se manji dio registrira pomoću posebnih senzora, koji su ugrađeni u satelite (Slika 3-1.). Osnovni cilj daljinskih istraživanja je registriranje promjena u vrsti i količini primljene elektromagnetske energije te njenom vizualizacijom. Na taj se način dobivaju različite informacije o kvaliteti i količini objekata na Zemljinoj površini, kao i njihovim međusobnim odnosima (Frančula i sur., 1994).



Slika 3-1. Vizualni prikaz daljinskih istraživanja (SketchBubble, 2023)

Uređaji za registriranje elektromagnetske energije mogu se podijeliti prema različitim karakteristikama. Prema izvorima energije, mogu biti pasivni ili aktivni. Pasivni uređaji registriraju emitirano ili reflektirano zračenje objekata na Zemljinoj površini. S druge strane, aktivni uređaji koriste vlastite izvore energije koji se šalju prema Zemljinoj površini, a zatim

se registrira reflektirani dio te energije (Slika 3-1.). Primjer takvih aktivnih uređaja su Radar i Lidar (Mårtensson, 2011).

Početak modernog daljinskog istraživanja počelo je razvojem fotografije tijekom 19. stoljeća. Prvi sateliti za daljinsko istraživanje Zemlje lansirani su tijekom 60-ih i 70-ih godina prošloga stoljeća. Ti su sateliti omogućili prikupljanje podataka o Zemlji, otvorivši novo poglavlje u istraživanju našeg planeta.

### 3.2. Copernicus i misije Sentinel

Copernicus je dio Europskog svemirskog programa koji se bavi promatranjem Zemlje i njenog okoliša s ciljem koristi za sve europske građane. Pruža informacijske usluge iz podataka koji su dobiveni satelitskim promatranjima Zemlje i izvan svemira. Programom upravlja Europska komisija u suradnji s državama članicama, Europskom svemirskom agencijom (ESA), Europskom organizacijom za eksploataciju meteoroloških satelita (EUMETSAT), Europskim centrom za srednjoročne vremenske prognoze (ECMWF), EU agencijama i Mercator Oceanom. Podaci prikupljeni iz satelita i sustava mjerenja na zemlji, u zraku i na moru pružaju informacije koje pomažu stručnjacima, građanima i drugim međunarodnim organizacijama poboljšati kvalitetu života europskih građana i šire. Pružene informacijske usluge su besplatne i otvoreno dostupne korisnicima (Copernicus, 2023).

Europska svemirska agencija (engl. *European space agency*, ESA) razvila je skup misija pod nazivom Sentinel, posebno za operativne potrebe programa Copernicus. Svaka misija Sentinela temelji se na grupi satelita kako bi zadovoljila potrebe za ponovnim snimanjem i pokrivenošću, pružajući pouzdane skupove podataka za usluge Copernicusa. Svaka Sentinel misija oslanja se na grupu satelita kako bi osigurala ponovne posjete i potrebnu pokrivenost, te pružila pouzdane skupove podataka za usluge Copernicus programa. Ove misije nose različite tehnologije, uključujući radarske i multispektralne instrumente za promatranje kopna, oceana i atmosfere. Razlikuju se:

- Sentinel-1 je polarno-orbitirajuća radar misija za usluge kopna i oceana. Sentinel-1A je lansiran 3. travnja 2014. godine, a Sentinel-1B 25. travnja 2016.. Misija je završena za Sentinel-1B u 2022. godini i planira se lansiranje Sentinel-1C čim je to moguće.

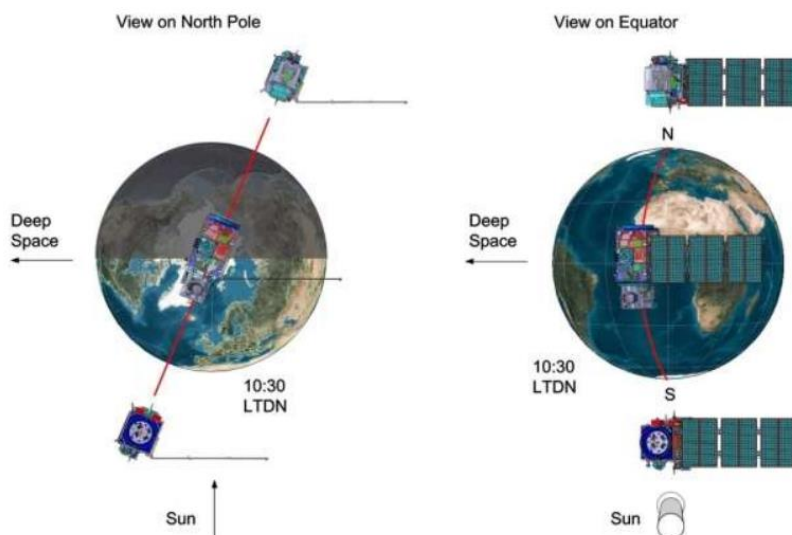


- Sentinel-2 je polarno-orbitirajuća, multispektralna misija visoke rezolucije za praćenje kopna kako bi pružila snimke vegetacije, tla i vodenog pokrivača, unutrašnjih vodotoka i obalnih područja. Sentinel-2A je lansiran 23. lipnja 2015. godine, a Sentinel-2B je slijedio 7. ožujka 2017. godine.
- Sentinel-3 je višesenzorska misija namijenjena mjerenju topografije morske površine, temperature morske i kopnene površine, boje oceana i kopna s visokom točnošću i pouzdanošću. Misija uključuje praćenje okoliša i klime. Sentinel-3A je lansiran 16. veljače 2016., a Sentinel-3B 25. travnja 2018. godine.
- cilj misije Sentinel-4 je pratiti važne plinove i aerosole koji utječu na kvalitetu zraka u Europi, kako bi podržali Copernicusovu uslugu za praćenje atmosfere (CAMS) s visokom prostornom razlučivošću i brzom ponovnom prekrivanjem.
- Sentinel-5P za cilj ima obavljanje atmosferskih mjerenja s visokom prostorno-vremenskom razlučivošću, koje će se koristiti za monitoring kvalitete zraka, ozona i UV zračenja te prognoze i monitoring klime. Uspješno je lansiran 13. listopada 2017. godine.
- Sentinel-6 nosi radarski altimeter za mjerenje globalne visine morske površine, prvenstveno za operativnu oceanografiju i klimatska istraživanja. Prvi satelit je lansiran u orbitu 21. studenog 2020. (ESA, 2023).

### 3.3. Sentinel-2

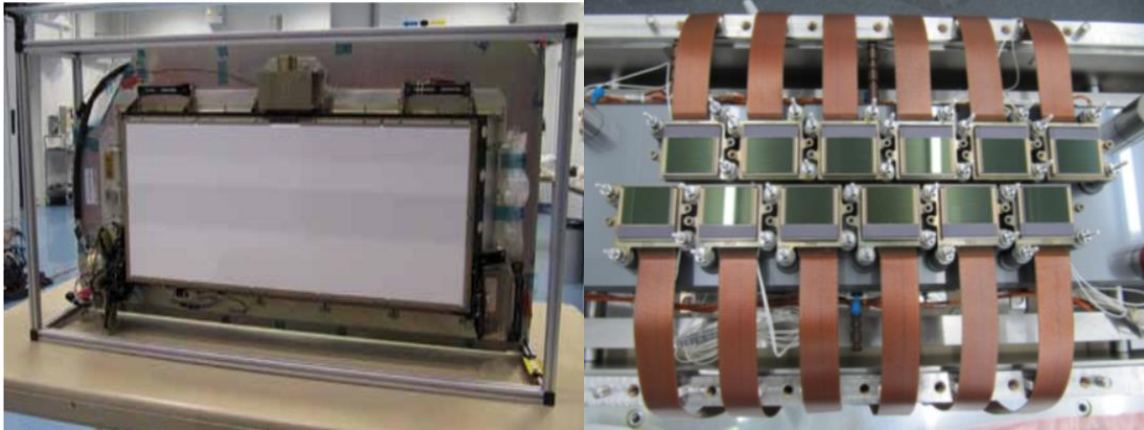
Sentinel-2 je europska širokopojasna, visokorazlučiva, multispektralna misija snimanja. Misija se sastoji od dva identična satelita: Sentinel-2A i Sentinel-2B. Svaki od njih

teži približno 1,2 tone. Oba satelita istovremeno djeluju u sunčano-sinkroniziranoj orbiti na visini od oko 785 km, a razlika u fazi je  $180^\circ$  između njih (Slika 3-2.).



Slika 3-2. Orbitalna konfiguracija blizanaca-satelita SENTINEL-2 (ESA, 2023)

Instrument na satelitu Sentinel-2, MultiSpectral Instrument (MSI) uzorkuje 13 spektralnih pojaseva: četiri pojasa na 10 m, šest pojasa na 20 m i tri pojasa na 60 m prostorne rezolucije. Širina orbitalnog snopa iznosi 290 km. MSI radi pasivno, prikupljanjem sunčeve svjetlosti koja je reflektirana sa Zemlje. Novi se podaci na instrumentu prikupljaju dok se satelit kreće duž svoje orbite. Prosječno vrijeme promatranja je 17 minuta, a maksimalno 32 minute. Dolazni snop svjetlosti, koji se odbija prema MSI instrumentu od Zemlje, prikuplja se pomoću teleskopa s tri zrcala, a zatim se razdvaja na filteru i usmjerava na dvije zasebne fokalne ravnine unutar instrumenta: jedan za deset vidljivih i bliskoinfracrvenih (NIR – engl. *Near-Infra-Red*) pojaseva, a drugi za tri kratkovalne infracrvene (SWIR – engl. *Short Wave Infra-Red*) pojaseve. Kalibracija MSI instrumenta postiže se pomoću difuzora postavljenim u unutrašnjosti CSM mehanizma (engl. *Calibration and Shutter Mechanism*). Da bi se postigla širina od 290 km, obje fokalne ravnine sastoje se od 12 detektora postavljenih u dva horizontalna reda (Slika 3-3.). Razdvajanje tih pojaseva u pojedinačne valne duljine postiže se pomoću filtera koji se nalaze na vrhu detektora (ESA, 2023).



Slika 3-3. a) CSM mehanizam MSI instrumenta s prikazom difuzora za kalibraciju prema suncu. b) Fokalna ravnina za NIR (ESA, 2023)

Površina koja se mjeri na zemlji i koju predstavlja pojedinačni piksel naziva se prostornom razlučivošću. Za Sentinel-2 postoje tri moguće prostorne razlučivosti: 10, 20 i 60 m. Plavi (B2), zeleni (B3), crveni (B4) i blisko infracrveni (B8) kanali imaju prostornu razlučivost od 10 m. Nadalje, crveni (B5), blisko infracrveni (B6, B7 i B8a) i kratkovalni infracrveni (B11 i B12) kanali imaju razlučivost od 20 m, dok aerosolni (B1) i cirusni (B10) kanal imaju veličinu piksela 60 m (Tablica 3-1.). Spektralna razlučivost je mjera sposobnosti instrumenta da razlikuje značajke u elektromagnetskom spektru. Spektralne razlučivosti za Sentinel-2 (širina pojaseva) navedene su u tablici u nastavku.

Tablica 3-1. Valne duljine i širine pojaseva za tri prostorne razlučivosti MSI instrumenata (ESA, 2023)

Spektralna razlučivost (m)	Pojas	Sentinel-2A		Sentinel-2B	
		Centralna valna duljina (nm)	Širina pojasa (nm)	Centralna valna duljina (nm)	Širina pojasa (nm)
10	2	492,4	66	492,1	66
	3	559,8	36	559	36
	4	664,6	31	664,9	31
	8	832,8	106	832,9	106
20	5	704,1	15	703,8	16
	6	740,5	15	739,1	15
	7	782,8	20	779,7	20
	8a	864,7	21	864	22
	11	1613,7	91	1610,4	94
	12	2202,4	175	2185,7	185
60	1	442,7	21	442,2	21
	9	945,1	20	943,2	21
	10	1373,5	31	1376,9	30

Radiometrijska razlučivost je mjera sposobnosti slikovnog sustava da zabilježi različite svjetline ili tonove. Radiometrijska razlučivost za Sentinel-2 iznosi 12 bita. To pruža raspon svjetlini od 0 - 4095. Vremenska razlučivost je vremenski period izražen u danima koji je potreban da satelit ponovno dođe određenu točku na Zemljinoj površini. Sateliti 2A i 2B omogućavaju vremenski razmak od 10 dana na ekvatoru s jednim satelitom, odnosno 5 dana s dva satelita pod uvjetom da nema oblaka. Širina snimanja za Sentinel-2 iznosi 290 km. U usporedbi, širina snimanja za Landsat 5 TM i Landsat 7 ETM+ je 185 km (Mandanici i Bitelli, 2016). Usporedba Sentinela-2 sa nasljeđenim misijama kao što su LANDSAT 1-7 i SPOT dana je u tablici 3-2.

Tablica 3-2. Usporedba Sentinel-2 sa LANDSAT-om i SPOT-om (ESA i USNA, 2023)

	<b>LANDSAT 1-7</b>	<b>LANDSA T 8 I 9</b>	<b>SPOT</b>	<b>SENTINEL-2</b>
Vrijeme trajanja misije	1972 - danas	2013 - danas	1986 - danas	2015 - danas
Ciklus ponavljanja (dan)	16	16	26	5
Širina snimanja (km)	185	185	2 x 60	290
Broj pojaseva	7	8	4	13
Spektralna razlučivost (m)	30, 60	30, 100	2.5, 10, 20	10, 20, 60

Misija Sentinel-2 prikuplja podatke nad kopnenim područjima i priobalju u pojasu koji se proteže od 56° južne geografske širine (Isla Hornos, Cape Horn, Južna Amerika) do 82.8° sjeverne geografske širine (iznad Grenlanda). Prilikom prikupljanja podataka, instrument se postavlja u jedan od dva načina kalibracije: kalibracija tamnog signala te kalibracija sunčevog signala. Podaci prikupljeni satelitima imaju široku primjenu pa se koriste za: monitoring zemljišta/vegetacije, upravljanje u hitnim situacijama, za sigurnost, praćenje klimatskih promjena (ESA, 2023).

### 3.4. QGIS

Geografski informacijski sustav (GIS) je računalni sustav koji omogućuje stvaranje, pohranu, upravljanje, analizu i vizualizaciju prostornih podataka. GIS integrira različite vrste podataka, poput geografskih informacija o lokacijama i atributnih informacija o tim lokacijama, kako bi stvorio cjelovitu sliku prostornih odnosa i obrazaca (Maguire, 1991). Podaci u GIS-u organizirani su u slojeve koji predstavljaju različite vrste informacija, kao što su ceste, rijeke, zgrade, zemljište, populacija, klimatski podaci i još mnogo toga. Korisnici mogu dodavati, uređivati, analizirati i pretraživati ove podatke kako bi dobili dublje razumijevanje prostornih podataka. GIS se primjenjuje u razne svrhe, uključujući urbanističko planiranje, upravljanje okolišem, poljoprivredu, šumarstvo, geologiju, promet, zdravstvo, kartografiju, arheologiju i mnoge druge. Omogućuje donošenje informiranih

odluka temeljenih na geografskim informacijama te pruža vrijedan alat za istraživanje, analizu i rješavanje prostornih problema. (ESRI, 2023).

QGIS (Quantum GIS) je Geografski informacijski sustav otvorenog koda koji je započeo 2002. godine s ciljem stvaranja alata za pregledavanje prostornih podataka. Danas je QGIS dosegao razinu razvoja gdje ga primjenjuju razni korisnici koji ga svakodnevno koriste za pregledavanje, uređivanje i analizu prostornih podataka te se također koristi u obrazovanju. QGIS je dostupan na većini operacijskih sustava, uključujući Linux, Windows i Mac OS X, te je licenciran pod GNU Općom javnom licencom (GPL). QGIS je razvijen korištenjem Qt alata i programskog jezika C++ (Graser i Olaya, 2015).

#### 4. METODOLOGIJA

Biljke apsorbiraju više crvene svjetlosti zbog klorofila, a reflektiraju više blisko infracrvene svjetlosti. Ta je refleksija osobito izražena kod vegetacije pa se iz tog razloga ona može razlikovati od drugih površina. Blisko infracrveno zračenje je osnova za računanje različitih značajki vegetacije, odnosno indeksa vegetacije. Vegetacijski indeks normalizirane razlike, NDVI (engl. *Normalized Difference Vegetation Index*) jedan je od najčešće upotrebljivanih indeksa i predstavlja ključan alat u području daljinskih istraživanja i proučavanja vegetacije. Osim praćenja promjene vegetacije, NDVI se primjenjuje kod raznih problema kao što su fenološke promjene, praćenje suše, procjena biomase te praćenje utjecaja klimatskih promjena na biljni svijet (Harbaš, 2014). Može se reći kako je NDVI mjera količine vitalnosti vegetacije na površini Zemlje, a slikovni prikazi NDVI-a omogućuju lakše razlikovanje vegetacije od drugih, golih tala (USDA, 2023).

Kada Sunčeve zrake dosegnu biljke, klorofili, koji su pigmenti prisutni u listovima, apsorbiraju vidljivu svjetlost (u rasponu od 0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ ) kako bi je iskoristili za fotosintezu. Stanice lista reflektiraju blisko infracrvenu svjetlost (u rasponu od 0,7 do 1,1  $\mu\text{m}$ ). Količina reflektirane energije u blisko infracrvenom i crvenom dijelu spektra određuje relativnu količinu vegetacije. Kod biljaka s više listova, veći je utjecaj na valne duljine svjetlosti. Zbog toga biljke izgledaju potpuno drugačije u vidljivom i blisko infracrvenom spektru. Na temelju odnosa između reflektirane energije u blisko infracrvenom i vidljivom spektru, može se procijeniti relativnu gustoću vegetacije. Ako je reflektirane energije u blisko infracrvenom spektru više nego u vidljivom spektru, to ukazuje na gustoću vegetacije u tom području. Ovakvim pristupom mogu se razlikovati različiti tipovi vegetacije i te omogućiti procjena njihove gustoće na temelju reflektiranog svjetla iz različitih dijelova spektra (Rumora i sur., 2016).

NDVI se izračunava iz satelitskih snimaka, pri čemu senzor na satelitu mjeri i bilježi vrijednosti refleksije za crveni i NIR (near-infrared) pojas na dvije odvojene kanale ili slike. Kriegler i suradnici (1969) su prvi predložili NDVI, a izračunava se oduzimanjem vrijednosti crvenog kanala od vrijednosti NIR kanala i dijeljenjem njihove razlike zbrojem dvaju kanala, odnosno:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (4-1)$$

pri čemu je NIR veličina refleksije infracrvenog svjetlosnog spektra, a RED veličina refleksije crvenog svjetlosnog spektra. Odnosno, za Sentinel-2 NDVI se računa kao:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (4-2)$$

Vrijednosti NDVI-a kreću se u rasponu od -1 do 1, pri čemu negativne vrijednosti uglavnom predstavljaju oblake, vodu i snijeg, dok vrijednosti blizu nule predstavljaju stijene i gola tla. Male vrijednosti (0,1 i manje) odgovaraju područjima s kamenjem, pijeskom ili snijegom. Umjerene vrijednosti (od 0,2 do 0,3) su grmlja i livade, dok vrijednosti od 0,6 do 0,8 odgovaraju bujnijoj vegetaciji (EOS, 2023). Na slici 4-1. prikazan je primjer izračuna NDVI-a.



Slika 4-1. Prikaz izračuna NDVI-a (EOS, 2023)

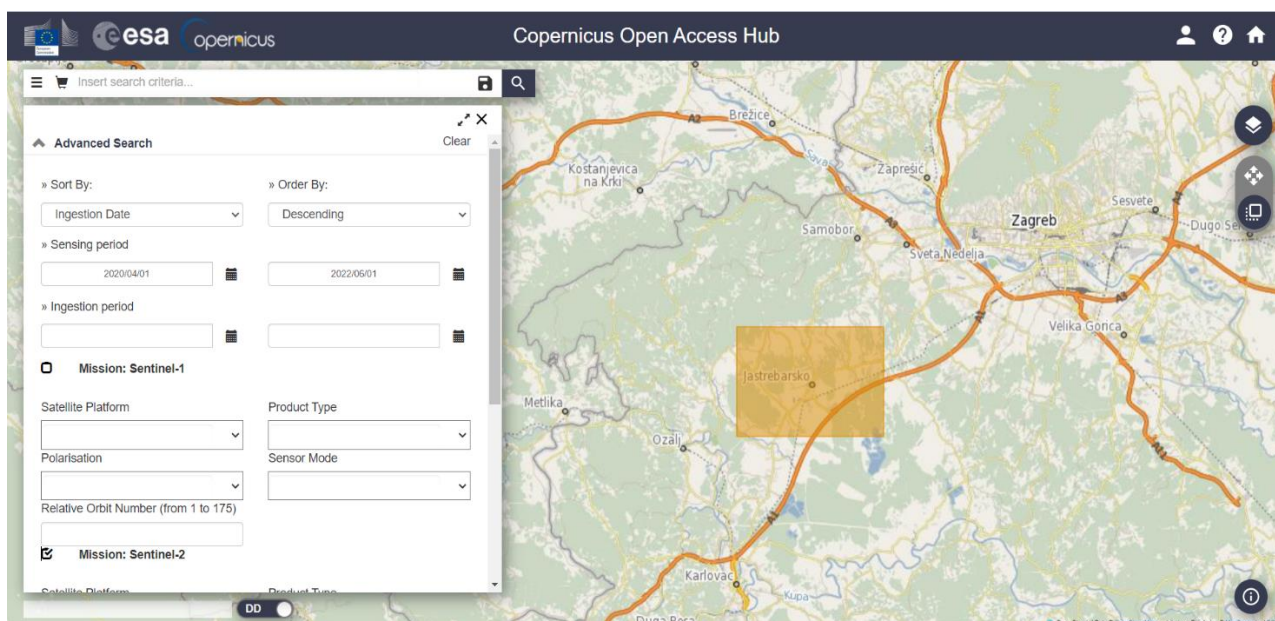
Postoje određena ograničenja u korištenju NDVI-a. Naime, proces koji je poznat kao „zasićenje“ događa se kada pigmenti u listovima dosegnu kritičnu točku, čime se smanjuje osjetljivost NDVI-a. U najkasnijim fazama razvoja biljaka, refleksija blisko infracrvenog spektra se nastavlja povećavati, a crveno svjetlo ostaje apsorbirano, odnosno vrijednost ostaje ista. Kao posljedica, vrijednosti NDVI-a postaju manje pouzdani pokazatelji zdravlja vegetacije (EOS, 2023). Dakle, prilikom visokih vrijednosti NDVI-a i mala promjena te vrijednosti može predstavljati značajnu promjenu u vegetaciji. Osim navedenog ograničenja,



na vrijednosti NDVI-a utječu i atmosferske prilike, skala snimke, vlaga u vegetaciji i u tlu, razlike u tipu tla i drugo (Rumora i sur., 2016).

## 5. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Podaci o vegetaciji prikupljeni su iz satelitskih snimaka Sentinel-2, preuzeti sa portala Copernicus Open Access Hub. Nekada poznat kao Sentinels Scientific Data Hub, Copernicus Open Access Hub pruža besplatni i otvoreni pristup podacima Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 i Sentinel-5P. Preko tog portala, u samo nekoliko koraka može se doći do traženih multispektralnih snimaka. Naime, na web stranici <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> potrebno se registrirati, odnosno napraviti korisnički račun. Sljedeći korak koji je potrebno napraviti je označiti željeno područje te odabrati kriterije po kojima se podaci filtriraju (Slika 5-1. i 5-2.).



Slika 5-1. Filteri i odabrano područje

Insert search criteria...

Polarisation

Sensor Mode

Relative Orbit Number (from 1 to 175)

Mission: Sentinel-2

Satellite Platform

Product Type

S2A\_\*

S2MSI2A

Relative Orbit Number (from 1 to 143)

Cloud Cover % (e.g.[0 TO 9.4])

Mission: Sentinel-3

Satellite Platform

Product Type

Timeliness

Instrument

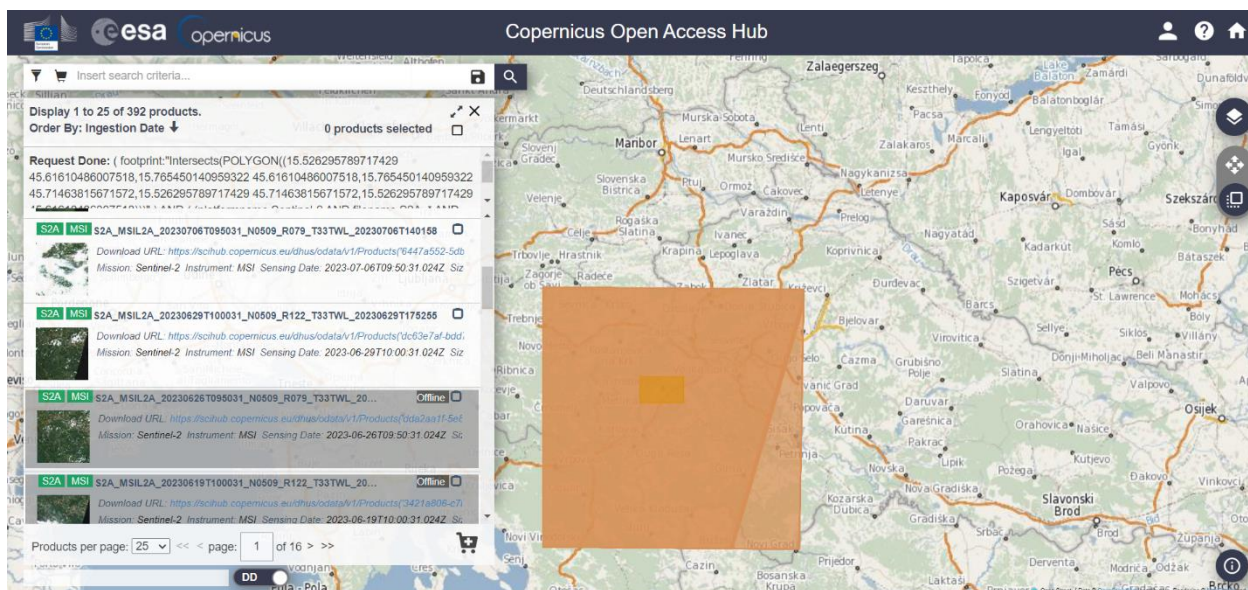
Product Level

Relative Orbit Start [1-385]

Slika 5-2. Odabrani kriteriji

Potrebno je upisati period snimanja unutar kojeg se žele dobiti multispektralne snimke, zatim označiti misiju Sentinel-2, odabrati satelit (*Satellite Platform*) te proizvodnu razinu (*Product Type*). Za potrebe ovog rada izabran je satelit Sentinel-2A, a kao proizvodna razina Level-2A, odnosno S2MSI2A. Ovim Level-2 moguće je bilo odabrati i Level-1C proizvodnu razinu. 1C proizvodi su originalni snimci koji se sastoje od ortorektificiranih slika u UTM/WGS84 projekciji. Oni ne sadrže atmosfersku korekciju i nisu ispravljani za refleksije na površini. Umjesto toga, pružaju radiometrijske podatke u obliku Top Of Atmosphere (TOA) refleksije. 2A proizvodi, s druge strane, pružaju atmosferski ispravljene površinske refleksije. To znači da su korigirani za atmosferske utjecaje poput raspršivanja zraka, apsorpcije i raspršivanja atmosferskih plinova te apsorpcije i raspršivanja zbog aerosolnih čestica. Ovi proizvodi omogućuju bolju i precizniju analizu zemljišnih površina jer uklanjaju atmosferske utjecaje.

Nakon odabira željenih filtera, učitavaju se multispektralne snimke u zadanom vremenskom periodu (Slika 5-3.).



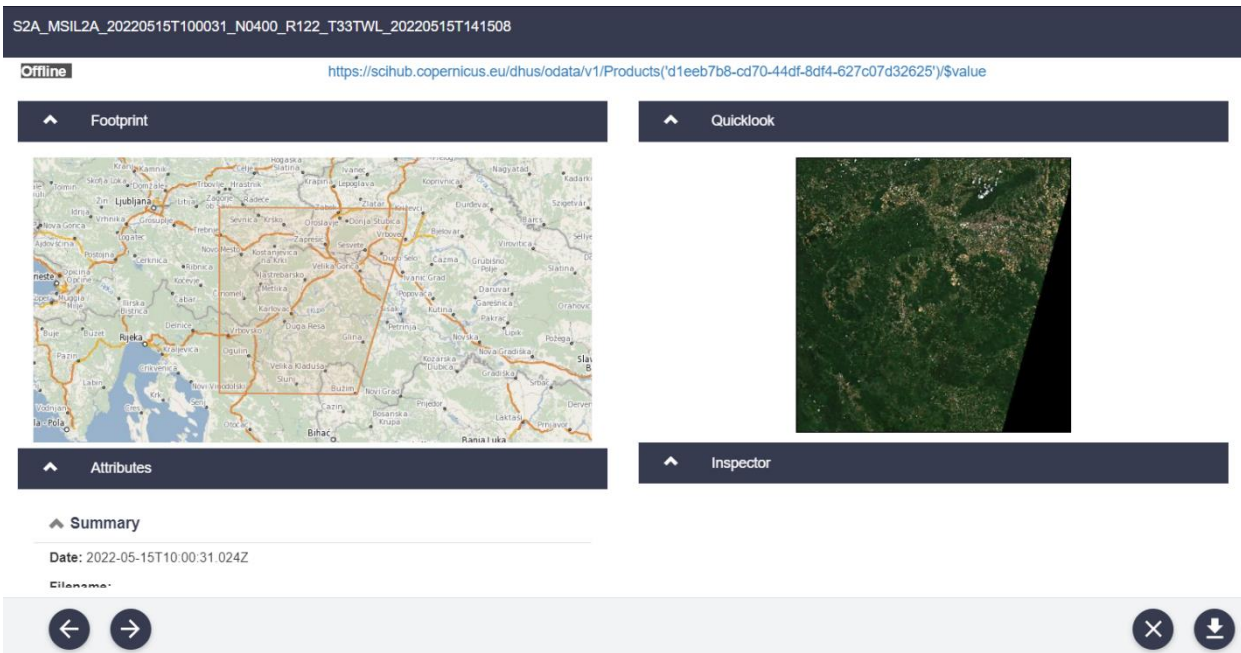
Slika 5-3. Prikaz multispektralnih snimaka prema zadanim kriterijima (Copernicus Open Access Hub, 2023)

Za potrebe ovog diplomskog rada, preuzeto je tri Sentinel-2A snimaka prikupljenih u vremenskom periodu od travnja 2020. godine do lipnja 2022. godine. Točni datumi preuzetih snimaka nalaze se u tablici 5-1. Podaci su odabrani u razmaku od godine dana, približno u isto vrijeme kako bi se na što precizniji način izrazila promjena u vegetaciji.

Tablica 5-1. Datum prikupljenih Sentinel-2A snimaka

DATUM	GODINA	IME MAPE
25. travnja	2020	S2A_MSIL2A_20200425T100031_N0214_R122_T33TWL_20200425T125204
10. svibnja	2021	S2A_MSIL2A_20210510T100031_N0300_R122_T33TWL_20210510T115157
15. svibnja	2020	S2A_MSIL2A_20220515T100031_N0400_R122_T33TWL_20220515T141508

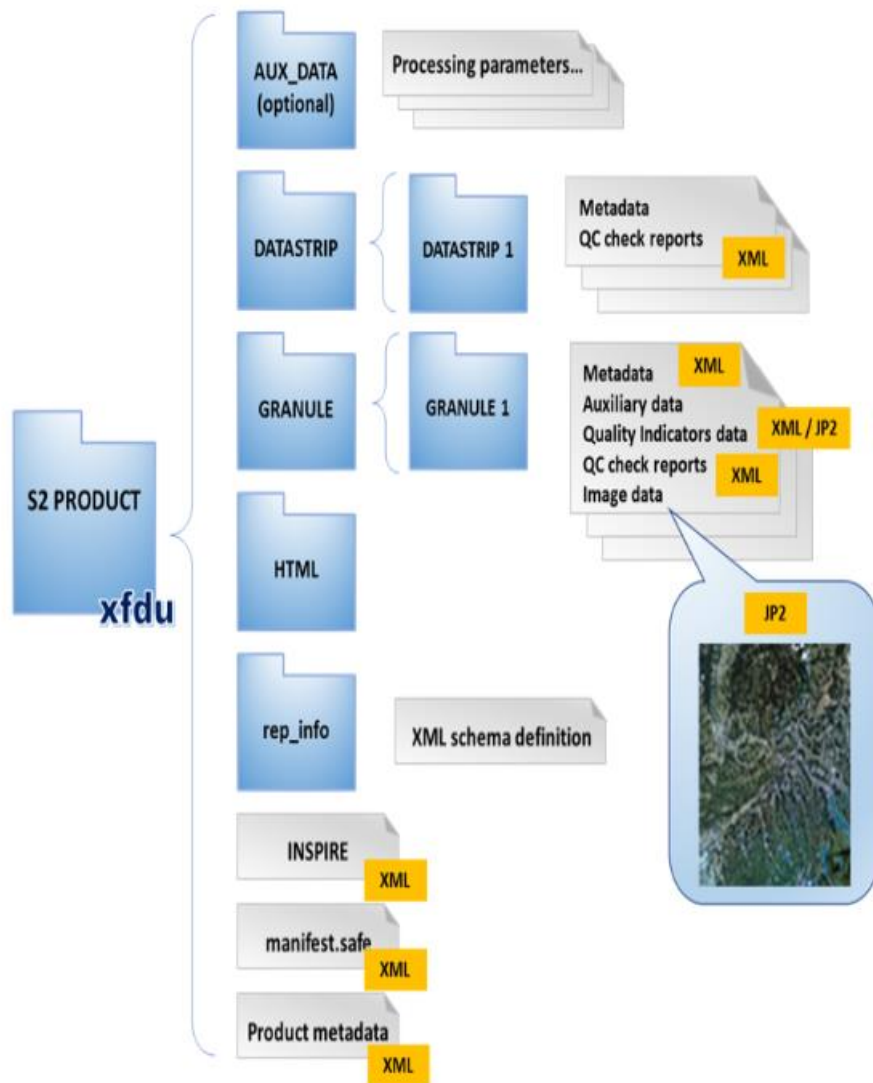
Ono što je još omogućeno prije preuzimanja samih podataka je kratki pregled proizvoda (Slika 5-4.). Kada se stisne na opciju *View Product Details* otvara se prozor u kojem se može vidjeti *Footprint*, odnosno granice snimke, koja se može približavati i udaljavati. Još je dan i sažetak u kojem su uklopljeni podaci poput datuma, imena mape, veličina mape, prekrivenost oblacima, postotak vegetacije te vodene površine i dr.



Slika 5-4. Prozor koji prikazuje detalje proizvoda

Nakon preuzimanja i raspakiravanja podataka otvara se nekoliko podmapa koje sadrže sljedeće informacije (Slika 5-5.):

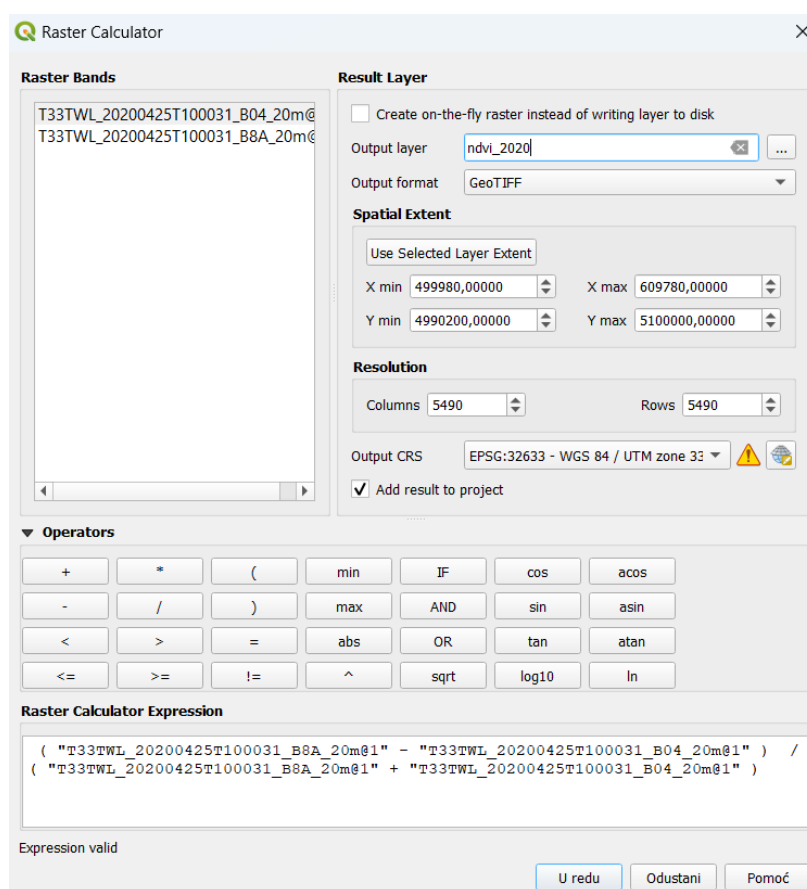
- podmapa AUX\_DATA sadrži skup pomoćnih datoteka koje se mogu ugraditi u proizvod
- podmapa DATASTRIP sadrži informacije na razini podataka u datotekama
- GRANULE podmapa sadrži podatke o slikama (granule/pločice) u JPEG2000 formatu kao i indikatore kvalitete
- podmapa HTML sadrži datoteku prezentacije proizvoda koja omogućuje jednostavno prikazivanje glavnog sadržaja proizvoda
- podmapa rep-info sadrži XSD sheme koje opisuju komponente proizvoda
- datoteku *manifest.safe* koja sadrži opće informacije o proizvodu u XML formatu
- INSPIRE XML datoteku, koja je metapodatak temeljen na INSPIRE regulativi o metapodacima
- datoteku metapodataka proizvoda u XML formatu koja opisuje fizičku organizaciju i sadržaj proizvoda



Slika 5-5. Slikovni prikaz skupa datoteka i direktorija koji sadrže informacije o snimcima i metapodatke (ESA, 2023)

## 6. OBRADA PODATAKA

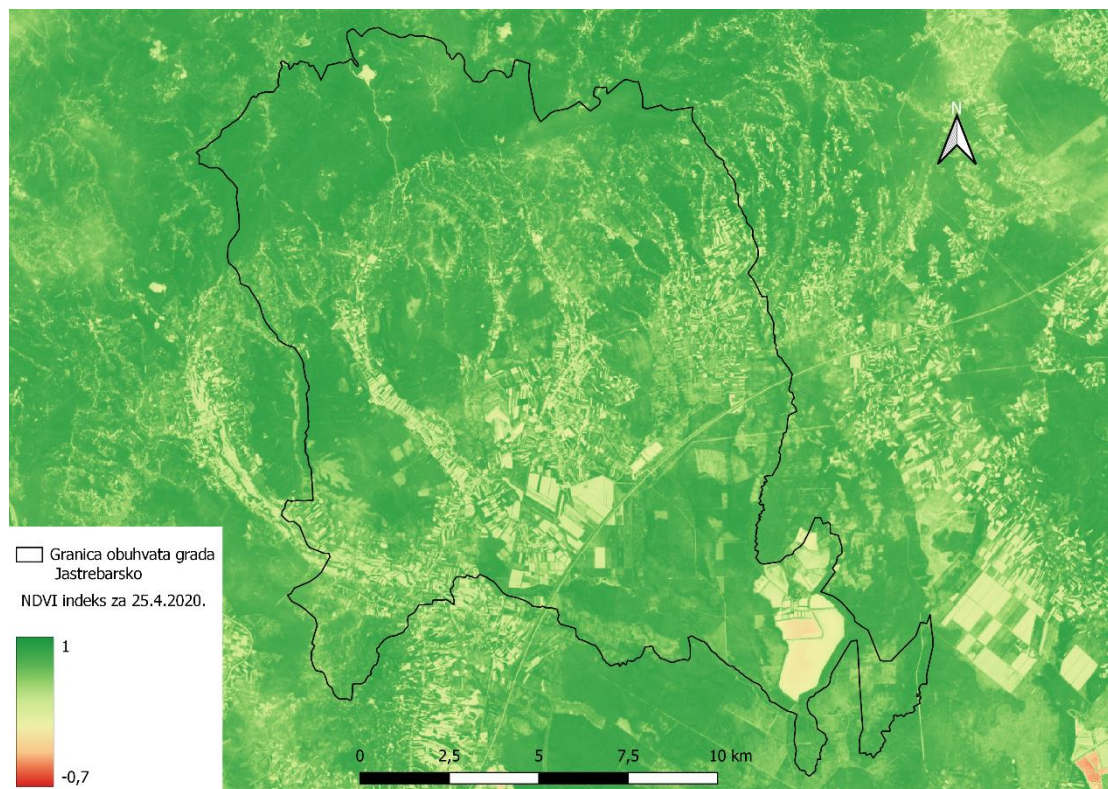
Budući da je osnovni cilj ovog diplomskog rada izraziti promjene u vegetaciji, potrebno je izračunati NDVI indeks za odabrane satelitske snimke snimljene u različitim godinama. Za određivanje NDVI indeksa potrebno je učitati u QGIS softver željene satelitske snimke. Učitani su samo pojasevi B8A i B04 spektralne razlučivosti od 20 metara, odnosno blisko infracrveni i crveni pojas. Nakon što su pojasevi učitani može se izračunati NDVI indeks. On se može lako izračunati pomoću opcije *Raster Calculator* te se mora napisati formula za izračunavanje NDVI indeksa (poglavlje 4). Potrebno je još odabrati izlazni format, dati mu ime te pokrenuti postupak (Slika 6-1.).



Slika 6-1. Jednadžba za računanje NDVI indeksa pomoću Raster Calculatora

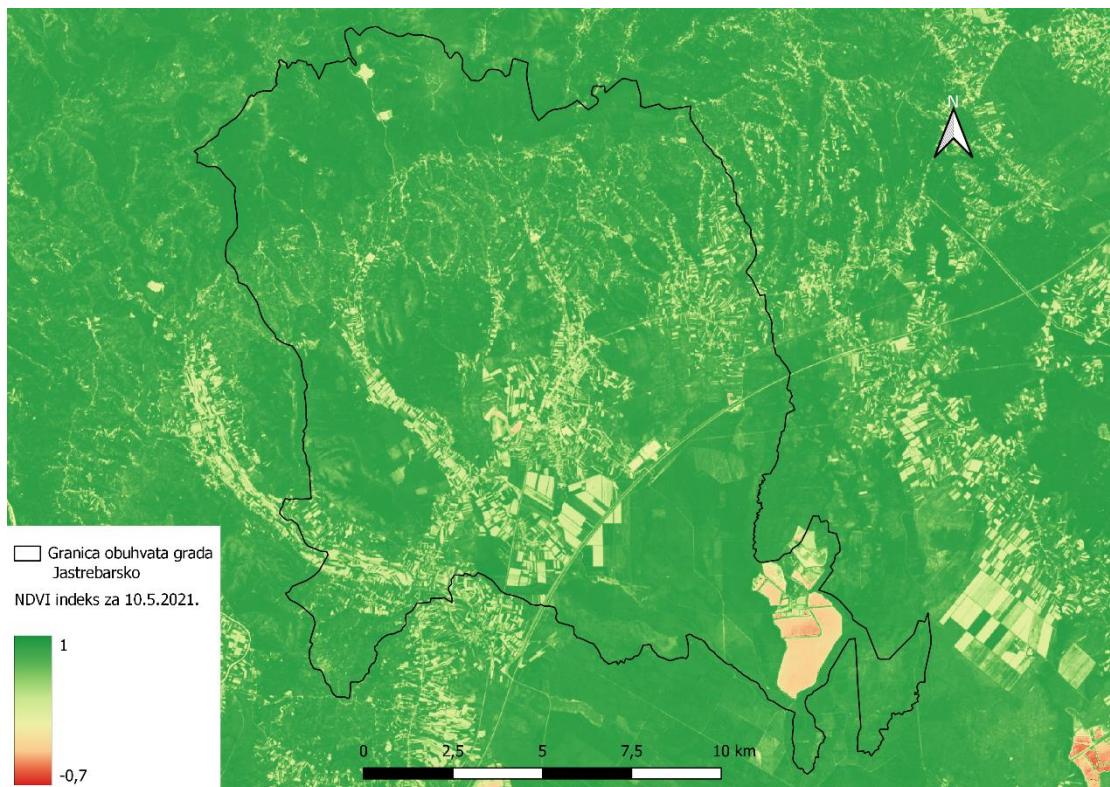
Nakon toga, učitava se karta koju je potrebno urediti. Kao *Color Ramp* uzeta je paleta boja s oznakom RdYIGn, koja se najčešće koristi kod prikaza NDVI indeksa. Potrebno je upisati vrijednosti NDVI-a koje odgovaraju pripadajućoj boji, npr. crvena boja odgovara najnižim vrijednostima, dok žarko zelena najvišim vrijednostima. Snimka snimljena Sentinel-2A satelitom obuhvaća puno veće područje od istraživanog pa je zato učitana *shapefile* u kojem

se vidi obuhvat grada Jastrebarsko. Ovaj se postupak ponovio tri puta, za tri različite satelitske snimke, a prikaz NDVI indeksa za njih prikazan je na slikama 6-2., 6-3., i 6-4.

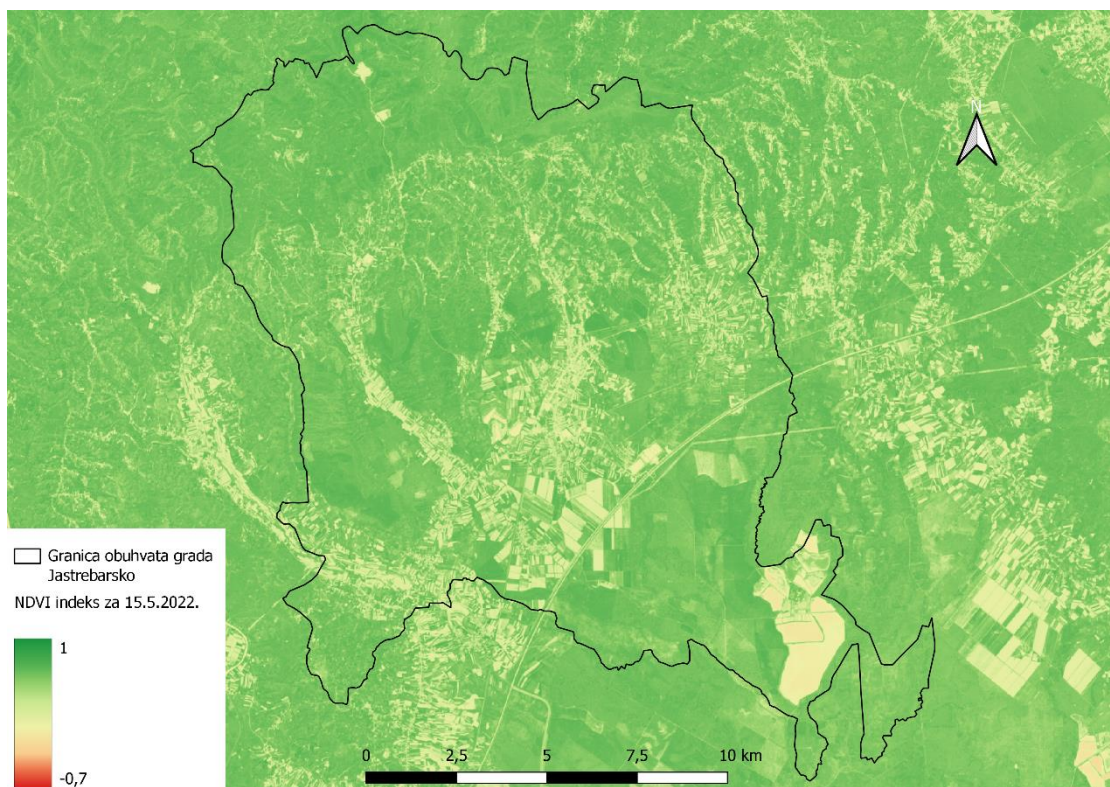


Slika 6-2. NDVI indeks za datum 25.4.2020. godine





Slika 6-3. NDVI indeks za datum 10.5.2021. godine



Slika 6-4. NDVI indeks za datum 15.5.2022. godine

Kako bi se usporedile vrijednosti ovih triju vrijednosti NDVI-a, za svaki je izračunata minimalna, maksimalna te srednja vrijednost pomoću opcije *Raster Information* (Tablica 6-1.).

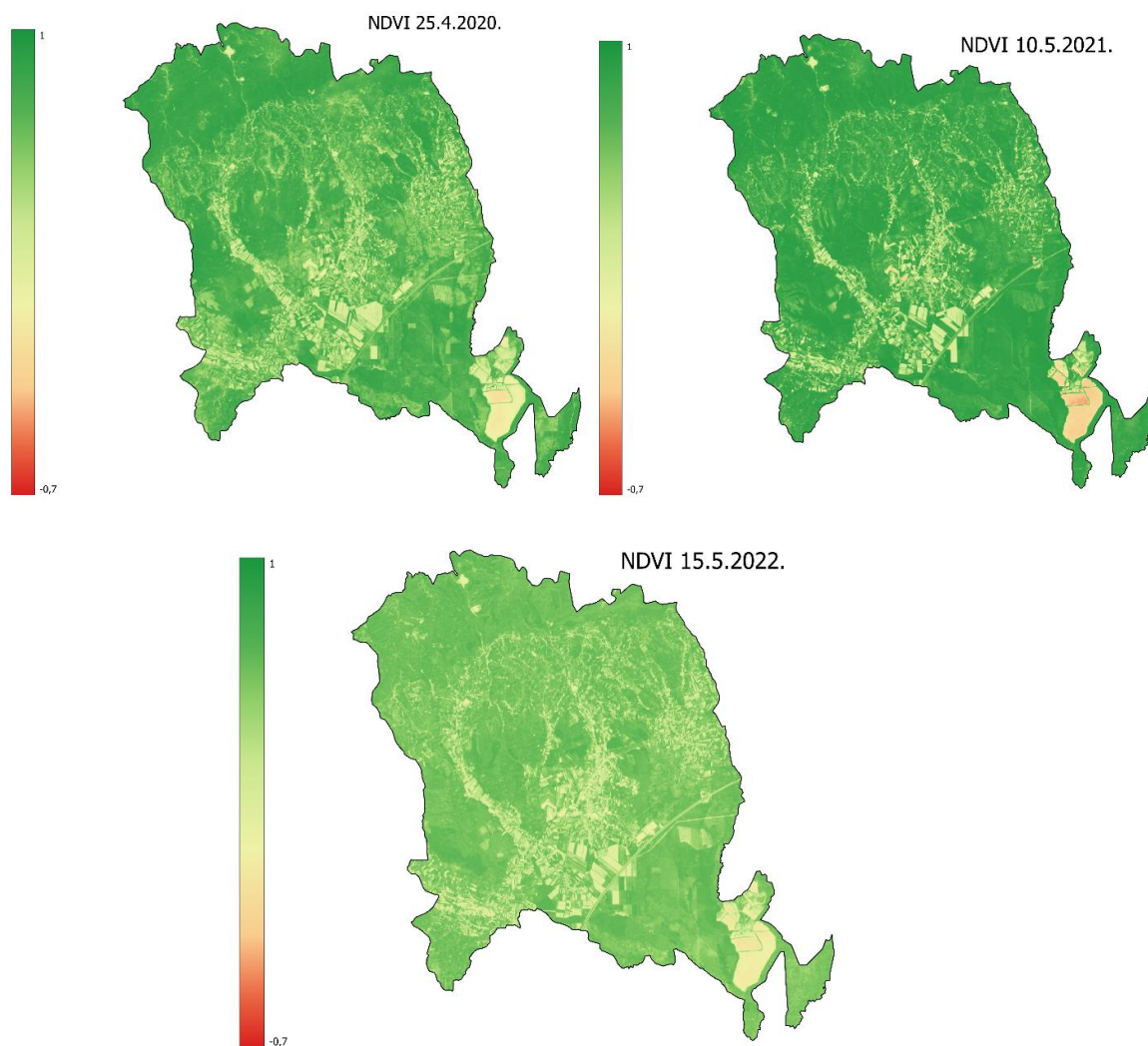
Tablica 6-1. Minimalne, maksimalne te srednje vrijednosti NDVI-a

Datum	Minimalna vrijednost NDVI-a	Maksimalna vrijednost NDVI-a	Srednja vrijednost NDVI-a
25.4.2020.	-0,252	0,900	0,653
10.5.2021	-0,670	0,934	0,747
15.5.2022.	-0,155	0,772	0,527

Osim samog izračuna NDVI indeksa, izračunate su i prikazane NDVI vrijednosti veće od 0,3 i 0,6. Ti su pragovi uzeti kako bi se identificirale određene razine vegetacije; NDVI veći od 0,3 može ukazivati na umjerenu vegetaciju, dok NDVI veći od 0,6 može ukazivati na gušća vegetacijska područja. To se može jednostavno izračunati pomoću *Raster Calculatora*. Zbog jasnije vizualne interpretacije, odvojen je poligon obuhvata područja istraživanja, a rezultati i diskusija navedeni su u narednom poglavlju 7.

## 7. REZULTATI

Računanjem NDVI indeksa za određene datume u 2020., 2021. i 2022. godini dobiveni su podaci o vegetaciji iz tri satelitska snimka. Na slici ispod prikazane su vrijednosti NDVI indeksa za svaki pojedini satelitski snimak istraživanoga područja.



Slika 7-1. NDVI indeksi za 25.4.2020., 10.5.2021. i 15.5.2022. godine

Iz snimaka se vidi kako maksimalne vrijednosti snimaka za 2020. i 2021. godinu dosežu vrijednosti koje su vrlo bliske 1. U 2022. godini najveća vrijednost NDVI-a iznosi 0,722, što je znatno niže od prethodne dvije godine. Ono u čemu je najveća razlika je minimalna vrijednost pojedinog snimka. Naime, za 2021. godinu ona iznosi -0,67, dok za prethodnu, 2020. godinu iznosi -0,252, a za 2022. godinu -0,155. Te minimalne vrijednosti, osim u

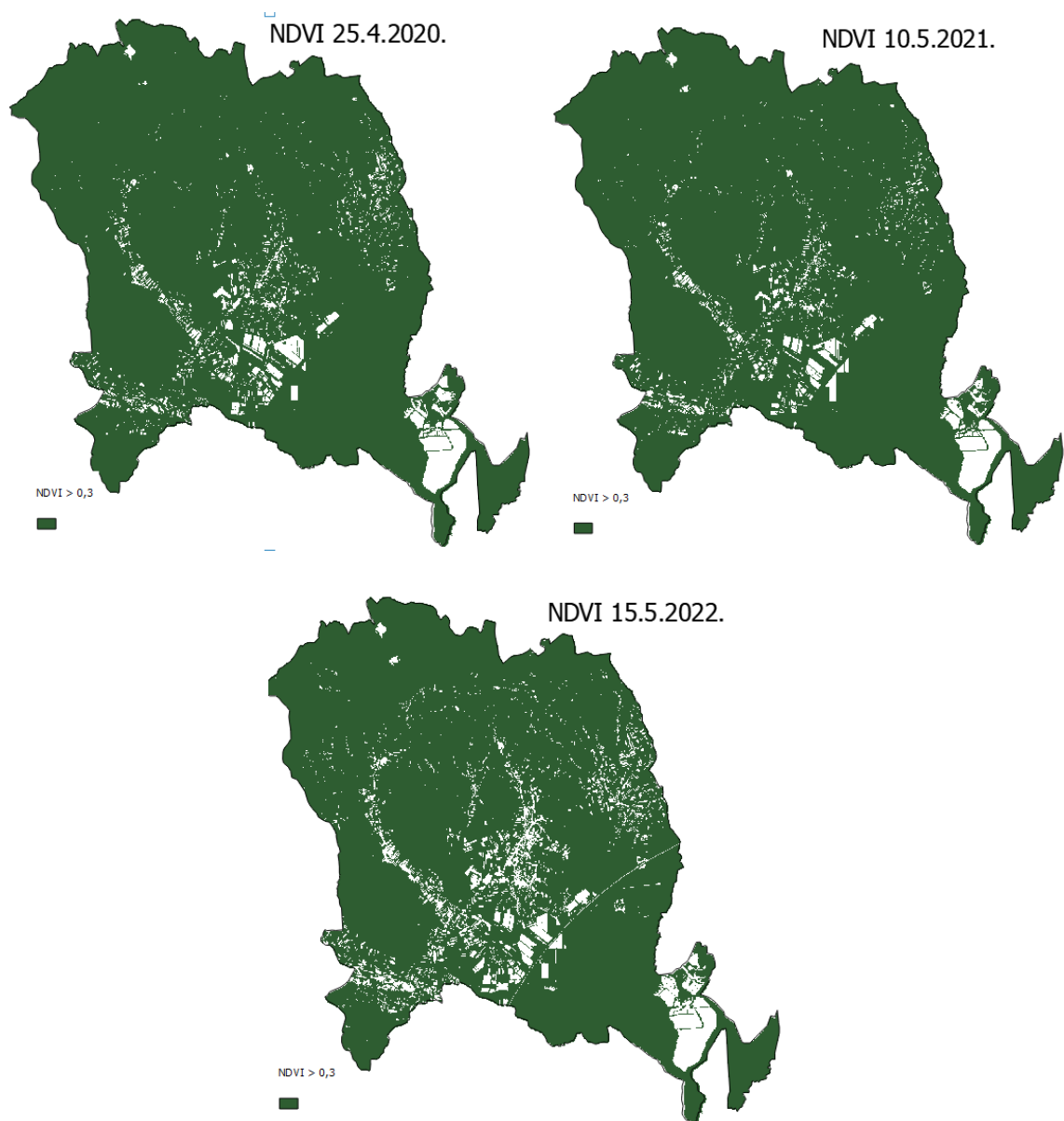
gradskom području i naseljima, uočavaju se i na jugozapadnom dijelu snimke, gdje se nalazi ornitološki rezervat Crna Mlaka koje je zapravo vodno područje. Mogući razlog odstupanja minimalnih vrijednosti kod 2021. godine je kvaliteta snimke.

Kako bi se što bolje predočile razlike u vegetaciji, na slikama 7-2. i 7-3. prikazane su snimke gdje je NDVI indeks veći od 0,3 tj. od 0,6. Prema literaturi, smatra se kako se vegetacija dijeli po razini, gdje vrijednosti NDVI-a veće od 0,3 predstavljaju nižu vegetaciju, livade i polja, a veće od 0,6 bujniju vegetaciju poput šuma.



Slika 7-2. NDVI indeksi veći od 0.6

Uspoređujući pojedine snimke sa slike iznad, uočava se razlika u vegetaciji. Na snimku iz 10.5.2021. godine vidi se da prevladava tamno zelena boja, što potvrđuje činjenica da je srednja vrijednost NDVI indeksa za taj datum 0,747. Može se reći kako je vegetacija bujna i zdrava. Za datum 25.4.2020. vrijednosti NDVI-a također su visoke, što je i očekivano budući da srednja vrijednost iznosi 0,653. Na temelju posljednje snimke, može se zaključiti da površine s vrijednostima NDVI-a većim od 0,6 postoje, ali u znatno manjoj količini nego prethodne dvije snimke.



Slika 7-3. NDVI indeksi veći od 0,3

Na slici 7.3. prikazane su NDVI vrijednosti veće od 0,3. Vrijednost 0,3 uzeta je iz razloga što NDVI indeksi koji imaju vrijednost 0,3 ili veću se mogu smatrati niskom vegetacijom. Ono što je drugačije od prethodne slike jest da je kod ove slike sve što ne pripada u kategoriju veće od 0,3 ostavljeno bijele boje kako bi se što jasnije vidjele razlike u pojedinim snimcima. Na zadnjem snimku, iz 2022. godine ima najviše bijele boje, odnosno vegetacije je najmanje, što se moglo primijetiti i po prethodnim snimkama gdje su analizirani NDVI indeksi. Snimci iz 2020. i 2021. naizgled su slični, no ipak više bijelih poligona ima na prvoj snimci. Dakle, vegetacije najviše ima u drugom snimku.

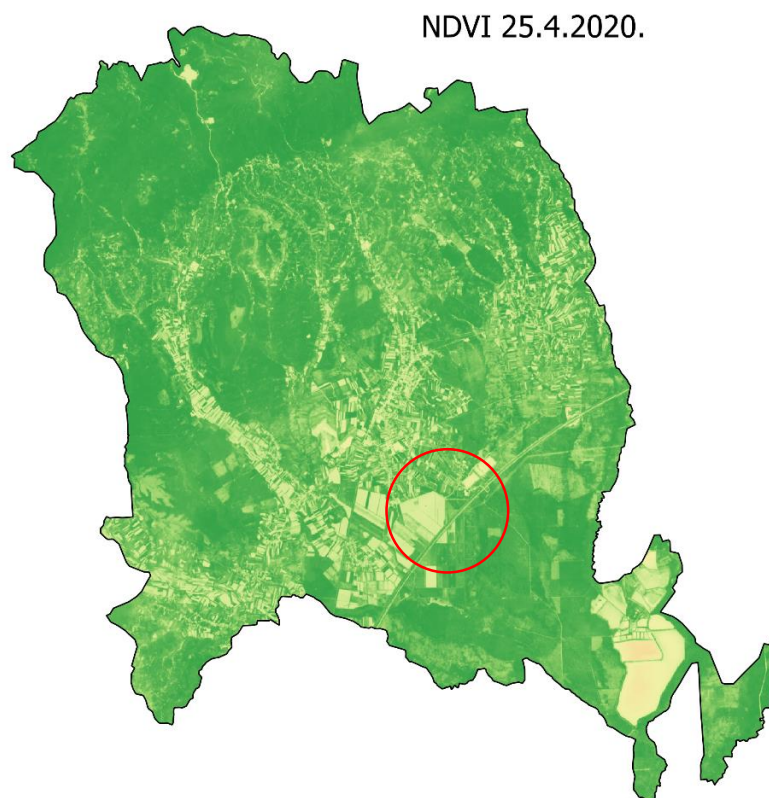
Usporedba NDVI vrijednosti između 25.4.2020. i 10.5.2021. godine pokazuje na povećanje NDVI indeksa (0,653 na 0,747). Međutim vrijednosti NDVI-a za 15.5.2022. godinu

pokazuju smanjenje na 0,527. Razlog ovih promjena može biti smanjenje ili povećanje zdravlja i gustoće vegetacije, kvaliteta snimka, prisutnost oblaka, klimatski uvjeti, ali i ljudska aktivnost.

#### 7.1. Primjer korištenja NDVI indeksa

NDVI indeksom može se pokazati je li neka površina tijekom određenog vremenskog perioda prestala biti vegetacijsko područje, tj. je li se izgradila neka građevina. Drugim riječima, NDVI može biti koristan pri monitoringu zemljišnog pokrova. U ovom je potpoglavlju dan primjer za istraživano područje gdje je određena površina „prešla“ iz prirodne vegetacije u građevinsko ili urbano područje.

Kako je površina relativno mala, na slici 7-4. pokazano je gdje je mikropodručje interesa (označeno crvenim krugom), a na narednim prikazima, slika je izrezana kako bi do izražaja došla promjena.



Slika 7-4. Mikrolokacija istraživanja



Slika 7-5. Prikaz NDVI-a za snimke: a)25.4.2020. godine i b)15.5.2022. godine

Na temelju slike 7-5. uočava se promjena vegetacije. Na lijevoj snimci, koja je iz 2020. godine vidi se zelena površina koja ukazuje na vegetaciju. Desni snimak, iz 2022. godine pokazuje žutobijeli obris, odnosno pad vrijednosti NDVI indeksa. Zaključuje se kako je na toj površini došlo do promjene u vegetaciji, odnosno, ona je postala građevina. Naime, na tom je području izrađen pročistač otpadnih voda za grad Jastrebarsko, što potvrđuje promjene NDVI vrijednosti za to područje.



## 8. ZAKLJUČAK

Daljinska istraživanja način su prikupljanja podataka o Zemlji i njenom okolišu s udaljenih lokacija, obično pomoću satelita, letjelica ili drugih senzora. Ova tehnologija omogućuje stručnjacima prikupljanje informacija o površini Zemlje, atmosferi, oceanima i drugim geografskim aspektima bez potrebe za fizičkim prisustvom na terenu. Analiza podataka prikupljenih pomoću satelita obično se radi u nekom od programa namijenjenih za obradu velike količine prostornih podataka. Program koji je korišten u ovom radu je QGIS, koji omogućuje analiziranje i vizualizaciju podataka.

U ovom su radu prikupljene satelitske snimke misije Sentinel-2 za vremensko razdoblje od tri godine. Datumi preuzetih snimaka su 25.4.2020., 10.5.2021. i 15.5.2022. godine. Za svaki je snimak izračunat vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI). Njegova vrijednost varira od -1 do 1, gdje negativne vrijednosti ukazuju na vodu, snijeg i područja bez vegetacije, a pozitivne vrijednosti predstavljaju vegetacijska područja.

Cilj diplomskog rada je na temelju izračunatih NDVI indeksa uočiti promjene u vegetaciji na istraživanom području u vremenskom periodu od tri godine. Osim minimalnih, maksimalnih i srednjih vrijednosti NDVI-a, izabrani su i konkretni brojevi u rasponu vrijednosti NDVI-a pomoću kojih se može klasificirati određena razina vegetacije.

NDVI ima široku primjenu pa se tako koristi u poljoprivredi, ekologiji, agronomiji, urbanističkom planiranju itd. U radu je dan konkretni primjer korištenja NDVI indeksa u monitoringu zemljišnog pokrova, gdje je uočena promjena u vrijednosti NDVI-a iz 15.5.2022. godine u odnosu na 25.4.2020. godine. Time je zaključeno da je vegetacijsko područje postala građevina, čime se pokazuje koliko je NDVI ključan alat u procjeni gustoće i zdravlja vegetacije.

## 9. LITERATURA

BENČEK, Đ., BUKOVAC, J., MAGAŠ N., ŠIMUNIĆ AN. 2014. Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:100.000, List Karlovac L33-92. – Hrvatski geološki institut, Zagreb.

BORIČEVIĆ, M. 2020. Preliminarna analiza podložnosti na klizanje grada Jastrebarsko. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

FRANČULA, N., LAPAINE, M., VUČETIĆ, N. 1994. Primjena daljinskih istraživanja u kartografiji. Geodetski list, 48(3), 265-276.

GRASER, A., OLAYA, V. 2015. A Python Framework for the Seamless Integration of Geoprocessing Tools in QGIS.

HARBAŠ, I. 2014. Računalna detekcija vegetacije uz prometnice temeljena na značajkama iz vidljivoga dijela spektra. Zavod za elektroničke sustave i obradu informacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb.

KRIEGLER, F. J. 1969. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment (pp. 97-131).

MANDANICI, E., BITELLI, G. 2016. Preliminary comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 Imagery for a combined use. Remote Sensing, 8(12), 1014.

MAGUIRE, D. J. 1991. An overview and definition of GIS. Geographical information systems: Principles and applications, 1(1), 9-20.

MÅRTENSSON, U. 2011. Introduction to Remote Sensing and Geographical Information Systems, Department of Physical Geography and Ecosystems Sciences. Lund University, Sweden.

RUMORA, L., MEDVED, I., PILAŠ, I., MEDAK, D. 2016. Usporedba vrijednosti vegetacijskog indeksa dobivenog na temelju digitalnog broja i refleksije na vrhu atmosfere. Geodetski list, 70(1), 59-74.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. 1978. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Zagreb L33–80. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd (1977).

TOMLJENović, B. 2002. Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

VUJNOVIĆ, T. 2010. Hidrogeološke značajke parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

### **Web literatura**

COPERNICUS EU 2023. „About Copernicus“ <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus> (10.7.2023.)

ESA, European Space Agency 2023. <https://www.esa.int/> (12.7.2023.)

ESRI 2023. „What is GIS?“ <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview> (13.7.2023.)

EOS, Earth Observing System 2023. „NDVI: Normalized Difference Vegetation Indeks“ <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/> (18.7.2023.)

DZS, Državni zavod za statistiku 2023. „Objavljeni konačni rezultati popisa 2021.“ <https://dzs.gov.hr/vijesti/objavljeni-konacni-rezultati-popisa-2021/1270> (30.6.2023.)

Grad Jastrebarsko 2023. „Službeni vjesnik grada Jastrebarsko“ [https://www.jastrebarsko.hr/dokumenti/sluzbeni\\_vjesnik\\_br\\_62021.pdf](https://www.jastrebarsko.hr/dokumenti/sluzbeni_vjesnik_br_62021.pdf) (30.6.2023.)

SketchBubble 2023. <https://www.sketchbubble.com/en/presentation-remote-sensing.html> (5.7.2023.)

USDA, United States Department of Agriculture (2023). „Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)“ <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/Definitions/spotveg.htm> (18.7.2023.)

USNA, United States Naval Academy 2023. „Landsat versus Sentinel-2 Comparison“ [https://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/md\\_help/remote\\_sensing\\_course/landsat\\_sentinel2.htm](https://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/md_help/remote_sensing_course/landsat_sentinel2.htm) (13.7.2023.)