

# Analiza učinkovitosti automatske segmentacije satelitskih snimki korištenjem Segment Anything Model-a i harmonijske analize NDVI vrijednosti

---

Papić, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geodesy / Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:256:560368>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 4.0 International](#) / [Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**



Repository / Repozitorij:

[repozitorij.geof.unizg.hr/en](https://repozitorij.geof.unizg.hr/en)





**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GEODETSKI FAKULTET**

Filip Papić

**Analiza učinkovitosti automatske segmentacije  
satelitskih snimki korištenjem Segment Anything  
Model-a i harmonijske analize NDVI vrijednosti**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GEODETSKI FAKULTET**




Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. I\_349\_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

**IZJAVLJUJEM**

Ja, **Filip Papić**, (JMBAG: 0007181399), rođen/a 11.3.2000. u Livno, BiH, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana 2.6.2024.

  
\_\_\_\_\_  
Potpis studenta / studentice

<b>I. AUTOR</b>	
<b>Ime i prezime:</b>	Filip Papić
<b>Datum i mjesto rođenja:</b>	11. ožujka 2000., Livno, Bosna i Hercegovina
<b>II. DIPLOMSKI RAD</b>	
<b>Naslov:</b>	Analiza učinkovitosti automatske segmentacije satelitskih snimki korištenjem Segment Anything Model-a i harmonijske analize NDVI vrijednosti
<b>Broj stranica:</b>	52
<b>Broj tablica:</b>	0
<b>Broj slika:</b>	22
<b>Broj bibliografskih podataka:</b>	11 + 12 URL-a
<b>Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:</b>	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
<b>Mentor:</b>	izv. prof. dr. sc. Mario Miler
<b>Komentor:</b>	
<b>Voditelj:</b>	
<b>III. OCJENA I OBRANA</b>	
<b>Datum zadavanja teme:</b>	22.1.2024.

<b>Datum obrane rada:</b>	6.9.2024.
<b>Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:</b>	prof. dr. sc. Damir Medak
	izv. prof. dr. sc. Mario Miler
	doc. dr. sc. Luka Rumora

## **Zahvala**

Prvo, jedno veliko hvala mojoj obitelji koja je sve ove godine trpjela mene i moje filozofiranje. Također velika zahvala svim ljudima koje sam upoznao tijekom studija koje su mi promijenile život i oblikovale me u ovo što sam sad. Bez svih Vas danas ne bi bio ono što jesam, i na tome Vam hvala do neba.

***Analiza učinkovitosti automatske segmentacije satelitskih snimki korištenjem Segment Anything Model-a i harmonijske analize NDVI vrijednosti***

*Ovaj diplomski rad istražuje učinkovitost automatske segmentacije satelitskih snimki korištenjem Segment Anything Model-a (SAM) i harmonijske analize NDVI vrijednosti. Korištenjem satelitskih snimki područja Varaždina prikupljenih od strane PlanetScope satelita, provedena je harmonijska analiza NDVI vrijednosti koja omogućuje detaljniju analizu sezonskih promjena vegetacije. Izdvojene harmonijske komponente (amplituda, faza i srednja vrijednost) korištene su za rekoloriranje satelitskih snimki u HSL modelu boja, što je poboljšalo vizualnu interpretaciju snimki i rezultate segmentacije. Segment Anything Model primijenjen je na originalne i rekolorirane snimke, a rezultati su uspoređeni s podacima iz ARKOD sustava. Analiza je pokazala visoku razinu sukladnosti između rezultata segmentacije i ARKOD podataka, posebno za veće poljoprivredne čestice, dok su uočena manja odstupanja na manjim česticama. Korištenje HSL rekoloriranja omogućilo je bolje razlikovanje različitih tipova vegetacije i zemljišnih površina. U budućim istraživanjima preporuča se daljnja analiza potencijala HSL rekoloriranja u identifikaciji specifičnih kultura na temelju boja nakon rekoloriranja.*

***Ključne riječi:*** harmonijska analiza, NDVI, rekoloriranje, segmentacija, satelitske snimke.

## ***Analysis of the Effectiveness of Automatic Satellite Image Segmentation Using the Segment Anything Model and Harmonic Analysis of NDVI Values***

*This thesis explores the effectiveness of automatic satellite image segmentation using the Segment Anything Model (SAM) and harmonic analysis of NDVI values. Using satellite images of the Varaždin area collected by PlanetScope satellites, a harmonic analysis of NDVI values was conducted, allowing for a detailed examination of seasonal vegetation changes. Extracted harmonic components (amplitude, phase, and mean value) were used to recolor satellite images in the HSL color model, which improved the visual interpretation of the images and segmentation results. The Segment Anything Model was applied to both original and recolored images, and the results were compared with data from the ARKOD system. The analysis revealed a high level of consistency between segmentation results and ARKOD data, particularly for larger agricultural plots, while minor discrepancies were noted in smaller plots. The use of HSL recoloring enabled better differentiation between various types of vegetation and land surfaces. Future research is recommended to further analyze the potential of HSL recoloring in identifying specific crops based on the colors observed post-recoloring.*

**Keywords:** *harmonic analysis, NDVI, recoloring, satellite images, segmentation.*



# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1 Problem i značaj istraživanja .....	1
1.2 Ciljevi rada.....	2
2. TEORIJSKA PODLOGA.....	4
2.1 Satelitske snimke i njihova primjena.....	4
2.2 Normalizirani diferencijali vegetacijski indeks (NDVI) .....	6
2.3 Harmonijska analiza .....	9
2.4 Segmentacija slika i Segment Anything Model (SAM) .....	11
2.5 Prethodna istraživanja.....	14
3. METODOLOGIJA .....	20
3.1 Prikupljanje i priprema podataka.....	20
3.2 Predobrada satelitskih snimki .....	20
3.3 Izračun NDVI-a .....	22
3.4 Harmonijska analiza NDVI vrijednosti .....	23
4. SEGMENTACIJA SATELITSKIH SNIMKI.....	27
4.1 Primjena Segment Anything Model-a .....	27
4.2 Parametri segmentacije .....	29
5. REZULTATI .....	31
5.1 NDVI analiza.....	31

---

5.2 Vizualna usporedba rezultata.....	34
5.3 Usporedba rezultata segmentacije sa ARKOD-om .....	36
5.4 Diskusija o prednostima i ograničenjima rekoloriranja .....	39
6. ZAKLJUČAK.....	42
PRILOZI.....	44
LITERATURA.....	49

# 1. UVOD

## 1.1 Problem i značaj istraživanja

Satelitske snimke imaju ključnu ulogu u modernom istraživanju Zemlje, omogućujući znanstvenicima i stručnjacima uvid u različite aspekte okoliša, poput vegetacijskog pokrova, urbanog razvoja, promjena u ekosustavima te utjecaja klimatskih promjena [1]. Jedan od glavnih izazova u obradi satelitskih snimki je njihova segmentacija, koja uključuje identificiranje i klasifikaciju različitih područja unutar slike prema njihovim spektralnim i tekstualnim značajkama [URL 2].

U ovom radu fokusiramo se na segmentaciju satelitskih snimki područja Varaždina, koristeći snimke prikupljene od strane PlanetScope satelita s prostornom rezolucijom od tri do četiri metra [URL 12]. Segmentacija satelitskih snimki je složen zadatak zbog različitih faktora poput promjena u osvjetljenju, atmosferskih uvjeta, sezonskih promjena te različitih tipova zemljišta unutar jednog područja [2].

Problem koji se istražuje u ovom radu je kako poboljšati kvalitetu automatske segmentacije satelitskih snimki korištenjem tehnika predobrade i harmonijske analize NDVI vrijednosti. Tradicionalne metode segmentacije često ne uspijevaju pouzdano identificirati granice i klasificirati zemljište zbog raznolikosti spektralnih svojstava u snimkama. Korištenjem harmonijske analize, moguće je bolje razumjeti sezonske varijacije u vegetaciji te koristiti te informacije za rekoloriranje snimki kako bi se postigla bolja segmentacija [3].

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) je jedan od najčešće korištenih indeksa za analizu vegetacijskog pokrova. NDVI se izračunava kao omjer razlike između refleksije u bliskom infracrvenom (NIR) i crvenom (RED) spektralnom području prema njihovom zbroju. Ovaj indeks daje indikaciju o gustoći i zdravlju vegetacije, što ga čini idealnim za praćenje promjena u vegetacijskom pokrovu tijekom vremena [2].

Harmonijska analiza NDVI vrijednosti omogućuje identifikaciju sezonskih obrazaca i drugih periodičnih komponenti vegetacijskih indeksa. Izdvajanjem amplitude, faze i srednje vrijednosti iz harmonijske analize, možemo poboljšati vizualnu interpretaciju satelitskih snimki rekoloriranjem rastera na temelju ovih vrijednosti [4]. Rekolorirane snimke zatim možemo koristiti za segmentaciju pomoću naprednih modela segmentacije, poput Segment Anything Modela (SAM), što može značajno poboljšati kvalitetu rezultata segmentacije [5].

Značaj ovog istraživanja leži u potencijalu za poboljšanje automatske segmentacije satelitskih snimki, što je ključno za brojne primjene, uključujući poljoprivredu, upravljanje prirodnim resursima, urbanističko planiranje i praćenje okoliša [6]. Korištenjem predobrade podataka i harmonijske analize, možemo postići preciznije i pouzdanije rezultate segmentacije, što može doprinijeti učinkovitijem upravljanju i očuvanju okoliša [6].

## 1.2 Ciljevi rada

Glavni cilj ovog diplomskog rada je istražiti mogućnosti poboljšanja automatske segmentacije satelitskih snimki korištenjem tehnika predobrade podataka i harmonijske analize NDVI vrijednosti. Specifični ciljevi uključuju:

1. Izračun NDVI vrijednosti: Izračun NDVI vrijednosti za šest različitih datuma tijekom razdoblja od pola godine koristeći PlanetScope satelitske snimke. Ovaj korak je važan za dobivanje osnovnih podataka o vegetacijskom pokrovu u promatranom području.
2. Provođenje harmonijske analize: Razvoj harmonijske funkcije NDVI vrijednosti kako bi se izdvojile ključne komponente: faza, amplituda i srednja vrijednost. Ove komponente će poslužiti kao temelj za rekoloriranje satelitskih snimki, što bi moglo poboljšati vizualnu interpretaciju i preciznost segmentacije.
3. Rekoloriranje satelitskih snimki: Korištenje izdvojenih harmonijskih komponenti za rekoloriranje NDVI rastera. Proces uključuje normalizaciju faze, amplitude i srednje vrijednosti te njihovu pretvorbu u HSL (Hue, Saturation, Lightness) model, a zatim u RGB (Red, Green, Blue) model.

4. Primjena Segment Anything Modela (SAM): Primjena SAM na originalne i rekolorirane snimke za provođenje segmentacije. Cilj je usporedba kvalitete segmentacije između originalnih i rekoloriranih snimki kako bi se utvrdila učinkovitost predobrade i harmonijske analize.
5. Usporedba i analiza rezultata: Provedba detaljne analize rezultata segmentacije originalnih i rekoloriranih snimki. Usporedba će se temeljiti na vizualnoj interpretaciji i eventualno kvantitativnim metrikama kako bi se procijenila učinkovitost i pouzdanost predloženih metoda.
6. Diskusija o značaju istraživanja: Razmatranje potencijalne primjene poboljšane segmentacije u različitim područjima, kao što su poljoprivreda, upravljanje prirodnim resursima, urbanističko planiranje i praćenje okoliša. Diskusija o prednostima, nedostacima i ograničenjima istraživanja.

Glavni doprinos ovog rada je pokazati da se predobradom podataka i harmonijskom analizom NDVI vrijednosti može značajno poboljšati kvaliteta segmentacije satelitskih snimki, što ima široku primjenu u različitim područjima geoinformatike i upravljanja okolišem.

## 2. TEORIJSKA PODLOGA

### 2.1 Satelitske snimke i njihova primjena

Satelitske snimke pružaju dragocjene podatke za analizu različitih aspekata Zemljine površine, uključujući vegetacijski pokrov, urbane sredine i promjene u okolišu. Sateliti poput PlanetScope-a, koji snimaju visoko-rezolucijske slike s prostornom rezolucijom od tri do četiri metra, ovisno o visini satelita, omogućuju detaljnu analizu promjena u okolišu i upravljanje prirodnim resursima [URL 2, URL 12]. PlanetScope konstelacija sastoji se od velikog broja malih satelita koji pružaju globalnu pokrivenost i visoku učestalost snimanja, što je idealno za praćenje promjena u okolišu na dnevnoj bazi [URL 2].

Satelitske snimke koriste se u različitim područjima, uključujući poljoprivredu, šumarstvo, upravljanje vodnim resursima, urbanističko planiranje, ekologiju i praćenje klimatskih promjena. Njihova primjena u poljoprivredi omogućuje praćenje stanja usjeva, predviđanje prinosa i identifikaciju područja pogođenih sušom ili drugim stresnim uvjetima [1]. U šumarstvu, satelitske snimke koriste se za mapiranje šumskih površina, praćenje krčenja šuma i procjenu biomase [2].

- Poljoprivreda: U poljoprivredi, satelitske snimke omogućuju precizno praćenje stanja usjeva kroz vegetacijske indekse poput NDVI-a. NDVI omogućuje procjenu zdravlja vegetacije i identificiranje područja pod stresom zbog nedostatka vode, bolesti ili napada štetnika. Praćenje ovih indeksa može pomoći poljoprivrednicima u donošenju informiranih odluka o navodnjavanju, primjeni gnojiva i zaštiti bilja [2]. Satelitske snimke također omogućuju procjenu prinosa usjeva na velikim površinama, što je korisno za planiranje i upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom.
- Šumarstvo: U šumarstvu, satelitske snimke koriste se za mapiranje šumskih područja i praćenje promjena u šumskom pokrovu. One omogućuju praćenje deforestacije, regeneracije šuma, te procjenu biomase i ugljičnog skladišta. Satelitske snimke visoke rezolucije mogu pomoći u identificiranju ilegalne sječe šuma i zaštiti zaštićenih

područja [1]. Korištenje satelitskih podataka za praćenje šuma također doprinosi boljem razumijevanju ekosustava i njihovih promjena uslijed klimatskih promjena.

- Upravljanje vodnim resursima: Satelitske snimke igraju važnu ulogu u upravljanju vodnim resursima, omogućujući praćenje stanja vodenih tijela, otkrivanje onečišćenja i procjenu dostupnosti vode. One omogućuju praćenje površinskih voda, poput rijeka, jezera i rezervoara, te procjenu promjena u vodostaju i kvalitete vode. Satelitske snimke također pomažu u identifikaciji područja podložnih poplavama i sušama, te u planiranju mjera za ublažavanje tih pojava [2].
- Urbanističko planiranje: U urbanističkom planiranju, satelitske snimke koriste se za mapiranje urbanih područja, praćenje urbanog širenja i procjenu promjena u korištenju zemljišta. One omogućuju detaljnu analizu urbanih struktura i infrastrukture, te identifikaciju područja pogodnih za razvoj. Satelitske snimke također pomažu u procjeni utjecaja urbanizacije na okoliš, poput promjena u temperaturnim režimima i kvalitete zraka [1].
- Ekologija i praćenje klimatskih promjena: Satelitske snimke pružaju ključne podatke za proučavanje ekosustava i njihovih reakcija na klimatske promjene. One omogućuju praćenje promjena u vegetacijskom pokrovu, migracijskih obrazaca divljih životinja i stanja staništa. Satelitski podaci također doprinose razumijevanju globalnih klimatskih promjena, kao što su zagrijavanje planeta, promjene u obrascima oborina i učestalost ekstremnih vremenskih događaja [6].

S obzirom na široku primjenu satelitskih snimki, postoji potreba za razvojem naprednih metoda za njihovu analizu i interpretaciju. U ovom radu, korištenje satelitskih snimki iz PlanetScope konstelacije omogućit će nam da detaljno analiziramo promjene u okolišu i ispitamo učinkovitost predloženih metoda za poboljšanje segmentacije.



*Slika 2.1. PlanetScope satelitska snimka Varaždina*

## **2.2 Normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (NDVI)**

Normalizirani Diferencijalni Vegetacijski Indeks (NDVI) jedan je od najčešće korištenih vegetacijskih indeksa u daljinskim istraživanjima. NDVI je omjer razlike između refleksije u bliskom infracrvenom (NIR) i crvenom (RED) spektralnom području prema njihovom zbroju. Ovaj indeks daje indicaciju o gustoći i zdravlju vegetacije. Visoke NDVI vrijednosti upućuju na gusto i zdravo bilje, dok niske vrijednosti sugeriraju odsutnost vegetacije ili stres biljaka.

NDVI se računa pomoću sljedeće formule:

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

NDVI se široko koristi za praćenje promjena u vegetacijskom pokrovu, procjenu prinosa usjeva, otkrivanje suša i proučavanje ekoloških promjena. Korištenje NDVI-a omogućuje znanstvenicima i poljoprivrednicima praćenje stanja usjeva tijekom vegetacijske sezone, identificiranje područja pod stresom i donošenje informiranih odluka o upravljanju poljoprivrednim resursima [2].



U poljoprivredi, NDVI omogućuje praćenje stanja usjeva kroz vegetacijsku sezonu. Visoke vrijednosti NDVI-a ukazuju na zdrave, bujne usjeve, dok niske vrijednosti mogu ukazivati na probleme kao što su suša, bolest ili nedostatak hranjivih tvari. Praćenjem NDVI-a, poljoprivrednici mogu optimizirati navodnjavanje, fertilizaciju i zaštitu bilja [2]. NDVI je također koristan u šumarstvu za praćenje stanja šumskih ekosustava. Korištenjem NDVI-a, moguće je identificirati područja zahvaćena deforestacijom, požarima ili bolestima. Ovaj indeks pomaže u procjeni regeneracije šuma i u planiranju mjera zaštite [6].

U ekološkim istraživanjima, NDVI se koristi za praćenje promjena u vegetacijskom pokrovu uzrokovanih klimatskim promjenama. Promjene u NDVI vrijednostima tijekom vremena mogu ukazivati na promjene u obrascima rasta vegetacije, sezonske varijacije i utjecaje ekstremnih vremenskih događaja. NDVI također pomaže u praćenju migracijskih obrazaca divljih životinja i stanja njihovih staništa [6].

Satelitski sustavi kao što je PlanetScope omogućuju prikupljanje visoko-rezolucijskih podataka potrebnih za izračun NDVI-a. PlanetScope sateliti prikupljaju slike u različitim spektralnim područjima, uključujući crveni i bliski infracrveni spektar, koji su ključni za izračun NDVI-a [URL 2]. Podaci prikupljeni sa satelita obrađuju se pomoću softverskih alata kao što su QGIS i specijalizirani Python paketi, uključujući rasterio i numpy.

QGIS je softver otvorenog koda za obradu geoinformacijskih podataka koji omogućuje jednostavnu manipulaciju i analizu satelitskih snimki. U QGIS-u se mogu izračunati NDVI vrijednosti pomoću izraza temeljnih na spektralnim kanalima snimki [4].

Python je moćan programski jezik s brojnim bibliotekama specijaliziranim za obradu i analizu satelitskih podataka. Rasterio je biblioteka koja omogućuje čitanje i pisanje rasterskih podataka, dok numpy pruža podršku za numeričke operacije. Kombinacija ovih alata omogućuje efikasan izračun NDVI-a iz satelitskih snimki [5].

#### Prednosti NDVI-a:

- Jednostavnost i učinkovitost: NDVI se jednostavno izračunava i interpretira, što ga čini široko prihvaćenim alatom u daljinskim istraživanjima.
- Univerzalna primjena: Koristi se u različitim disciplinama, uključujući poljoprivredu, šumarstvo, ekologiju i praćenje klimatskih promjena [2].
- Mogućnost praćenja promjena: Omogućuje praćenje promjena u vegetacijskom pokrovu tijekom vremena, što je ključno za razumijevanje ekoloških i klimatskih procesa [6].

#### Ograničenja NDVI-a:

- Osjetljivost na atmosferske uvjete: NDVI može biti pod utjecajem atmosferskih uvjeta poput oblaka i aerosola, što može dovesti do netočnosti u podacima.
- Spektralna zasićenost: U područjima s vrlo gustom vegetacijom, NDVI može doseći plato, što ograničava njegovu sposobnost razlikovanja između različitih razina vegetacijskog pokrova.
- Neadekvatnost za ne-vegetacijske površine: NDVI je specifično dizajniran za analizu vegetacije i nije primjeren za analizu površina poput vode, snijega ili urbanih područja [6].



Slika 2.2. NDVI PlanetScope satelitske snimke područja Varaždina

### 2.3 Harmonijska analiza

Harmonijska analiza je metoda koja se koristi za razlaganje vremenskih serija podataka u osnovne komponente, kao što su amplitude, faze i srednje vrijednosti. Ova metoda omogućuje identifikaciju periodičnih obrazaca u podacima i pruža dublji uvid u dinamiku promjena. Primjenjuje se u različitim područjima znanosti, uključujući meteorologiju, oceanografiju, ekologiju i daljinsko istraživanje.

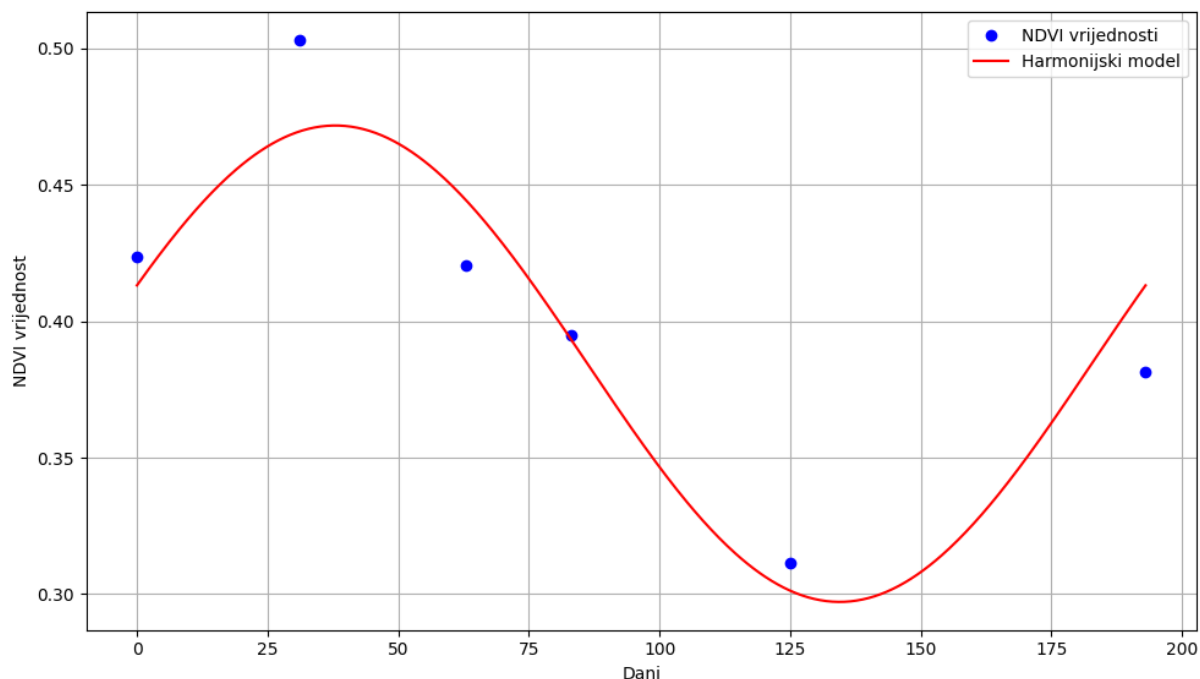
Harmonijska analiza temelji se na prilagodbi sinusoidnih funkcija vremenskim serijama podataka. Osnovna ideja je razlaganje složenih periodičnih signala na jednostavnije harmonijske komponente. Matematički, harmonijska funkcija može se opisati kao:

$$x(t) = A \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \phi\right) + C$$

Gdje su:

- $A$  – amplituda, koja predstavlja veličinu varijacije signala
- $\phi$  – faza, koja predstavlja vremenski pomak periodičnog obrasca

- C – srednja vrijednost signala
- T – period, koji određuje trajanje jednog ciklusa



Slika 2.3. Grafički prikaz NDVI vrijednosti i harmonijskog modela za odabrani piksel

Harmonijska analiza može se primijeniti na različite vrste vremenskih serija podataka. U ekologiji, na primjer, koristi se za analizu sezonskih promjena u vegetacijskim indeksima poput NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). U oceanografiji, koristi se za analizu valnih visina i struja. U meteorologiji, pomaže u analizi periodičnih obrazaca kao što su temperature i padaline.

Prednosti:

- Detaljna analiza: Harmonijska analiza omogućuje detaljnu analizu sezonskih promjena u vegetaciji. Izdvajanje amplituda, faza i srednjih vrijednosti pruža dublji uvid u dinamiku vegetacijskog pokrova i omogućuje bolje razumijevanje ekoloških procesa.

- Izdvajanje ključnih komponenti: Pruža ključne parametre (amplituda, faza, srednja vrijednost) koji se mogu koristiti za daljnju analizu i vizualizaciju. Ove komponente mogu pomoći u identificiranju sezonskih obrazaca i razumijevanju utjecaja različitih ekoloških faktora na vegetaciju.
- Poboljšanje vizualizacije: Omogućuje rekoloriranje satelitskih snimki na temelju harmonijskih komponenti, što može poboljšati interpretaciju podataka. Rekolorirane snimke pružaju bolju vizualnu diferencijaciju između različitih tipova vegetacije i drugih zemljišnih površina, što može poboljšati rezultate segmentacije [3].

Ograničenja:

- Računska zahtjevnost: Proces harmonijske analize može biti računski intenzivan, posebno za velike skupove podataka. Analiza velikih rasterskih podataka zahtijeva značajne računalne resurse i vrijeme, što može predstavljati izazov u praksi [4].
- Osjetljivost na kvalitetu podataka: Kvaliteta rezultata harmonijske analize ovisi o kvaliteti ulaznih podataka i pravilnom postavljanju početnih uvjeta za prilagodbu modela. Prisustvo šuma, netočnosti u podacima ili nepravilno odabrani početni uvjeti mogu utjecati na točnost rezultata [4].
- Ograničenja modela: Harmonijski modeli pretpostavljaju da su sezonski obrasci sinusoidni i periodični, što možda nije uvijek slučaj u stvarnim ekološkim sustavima. Kompleksniji obrasci promjena u vegetaciji mogu zahtijevati naprednije metode analize koje nadilaze jednostavne sinusoidne modele.

## 2.4 Segmentacija slika i Segment Anything Model (SAM)

Segmentacija slika je proces podjele slike na više segmenata s ciljem pojednostavljenja ili promjene reprezentacije slike u nešto značajnije i lakše za analizu. Segmentacija je ključna u analizi satelitskih snimki jer omogućuje identificiranje različitih područja i njihovih karakteristika. Postoji nekoliko pristupa segmentaciji slika, uključujući tradicionalne metode temeljene na pragu, klasterizaciji i rubovima, kao i suvremene metode koje koriste duboko učenje.

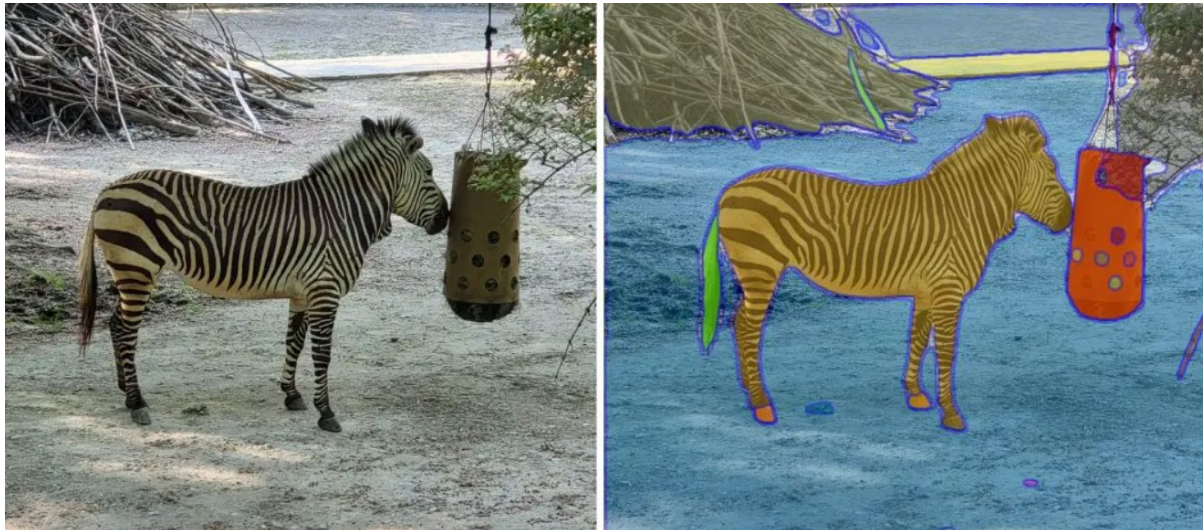
Tradicionalne metode segmentacije slika uključuju tehnike kao što su segmentacija temeljena na pragu, metoda razdvajanja rubova i klasterizacija. Ove metode koriste različite pristupe za identificiranje i odvajanje objekata unutar slike.

Segmentacija temeljena na pragu koristi određeni prag za podjelu piksela slike u dvije ili više klasa. Na primjer, pikseli čija je vrijednost veća od praga mogu biti klasificirani kao objekti, dok pikseli s vrijednostima manjim od praga pripadaju pozadini. Iako je ova metoda jednostavna za implementaciju, njezina učinkovitost može biti ograničena u složenim slikama s puno varijacija. Metoda razdvajanja rubova temelji se na identifikaciji rubova unutar slike, gdje se intenzitet piksela naglo mijenja. Razdvajanje rubova koristi se za definiranje granica između različitih objekata unutar slike. Tehnike kao što su *Canny* detekcija rubova i *Sobel* operator često se koriste za ovaj pristup. Klasterizacija se temelji na grupiranju piksela sličnih svojstava kako bi se formirali segmenti. *K-means* klasterizacija i metode temeljene na histogramima često se koriste za segmentaciju slika. Ove metode su učinkovite u identificiranju homogenih područja unutar slike, ali mogu imati poteškoća s definiranjem preciznih granica objekata.

Suvremene metode segmentacije koriste duboko učenje za postizanje visokih performansi i točnosti u segmentaciji slika. Ove metode uključuju korištenje konvolucijskih neuronskih mreža (CNN) i drugih naprednih arhitektura koje mogu automatski učiti značajke iz velikih skupova podataka. CNN su postale standard za segmentaciju slika zbog svoje sposobnosti da uče složene značajke iz slikovnih podataka. U segmentaciji slika, CNN se često koristi u arhitekturama kao što su U-Net i SegNet, koje su dizajnirane za generiranje preciznih segmentacijskih maski [8].

Segment Anything Model (SAM) je napredni model segmentacije razvijen od strane Facebook AI Research. SAM koristi duboko učenje za segmentaciju slika i dizajniran je da bude fleksibilan i učinkovit za različite tipove slika i primjene. Model koristi duboku konvolucijsku mrežu koja se trenira na velikim skupovima podataka kako bi automatski učila značajke i segmentirala slike na temelju tih značajki [3]. SAM koristi višeslojnu arhitekturu koja kombinira značajke iz različitih razina mreže kako bi generirala precizne segmentacijske

maske. Ova arhitektura omogućuje modelu da se prilagodi različitim vrstama slika i postigne visoku točnost segmentacije. SAM je također dizajniran da bude skalabilan, omogućujući segmentaciju velikih slikovnih podataka s visokom učinkovitosti [3].



*Slika 2.4. Primjer slike segmentirane SAM-om*

Tehnički aspekti SAM-a:

- Višeslojna arhitektura: SAM koristi duboku konvolucijsku mrežu s više slojeva, što omogućuje modelu da uči složene značajke iz podataka. Kombinacija značajki iz različitih slojeva omogućuje generiranje preciznih segmentacijskih maski [3].
- Trening na velikim skupovima podataka: SAM je treniran na velikim skupovima podataka, što omogućuje modelu da prepozna širok spektar objekata i scena. Ovaj pristup osigurava visoku točnost i generalizaciju modela na različite vrste slika [3].
- Efikasnost: Dizajniran je za učinkovitost i skalabilnost, omogućujući obradu i segmentaciju velikih količina podataka u razumnom vremenskom okviru [3].
- Fleksibilnost: SAM je prilagodljiv i može se koristiti za segmentaciju različitih tipova slika, uključujući satelitske snimke, medicinske slike i urbane slike. Ova fleksibilnost čini ga univerzalnim alatom za segmentaciju [3].

Korištenje SAM-a u segmentaciji satelitskih snimki uključuje učitavanje snimki u model, izvođenje segmentacije i analiza rezultata. Prednosti korištenja SAM-a uključuju mogućnost automatske segmentacije velikih skupova podataka, što značajno smanjuje potrebu za ručnim označavanjem i povećava učinkovitost analize podataka [3].

Rekoloriranje satelitskih snimki temelji se na harmonijskoj analizi NDVI vrijednosti. Izdvojene harmonijske komponente (amplituda, faza, srednja vrijednost) koriste se za rekoloriranje NDVI rastera, što poboljšava vizualnu interpretaciju podataka. Rekolorirane snimke pružaju bolju vizualnu diferencijaciju između različitih tipova vegetacije i drugih zemljišnih površina, što može poboljšati rezultate segmentacije. Segment Anything Model (SAM) primjenjuje se na originalne i rekolorirane snimke za segmentaciju. Korištenje harmonijskih komponenti za rekoloriranje snimki omogućuje poboljšanje vizualne interpretacije i preciznosti segmentacije. Segmentacija se provodi u sljedećim koracima:

1. Priprema podataka: Prikupljanje i predobrada satelitskih snimki, uključujući izračun NDVI vrijednosti i harmonijsku analizu.
2. Rekoloriranje snimki: Korištenje harmonijskih komponenti (amplituda, faza, srednja vrijednost) za rekoloriranje snimki.
3. Primjena SAM-a: Primjena SAM-a na originalne i rekolorirane snimke za segmentaciju.
4. Usporedba rezultata: Analiza i usporedba kvalitete segmentacije između originalnih i rekoloriranih snimki.

## 2.5 Prethodna istraživanja

Pregled prethodnih istraživanja u području segmentacije satelitskih snimki i NDVI analize ključan je za razumijevanje postojećih metoda i tehnologija, kao i za identifikaciju praznina koje novo istraživanje može popuniti. U ovom poglavlju analizirat će se značajne studije koje su se bavile sličnim temama, uključujući primjenu harmonijske analize, segmentacije slika i korištenje naprednih modela dubokog učenja.

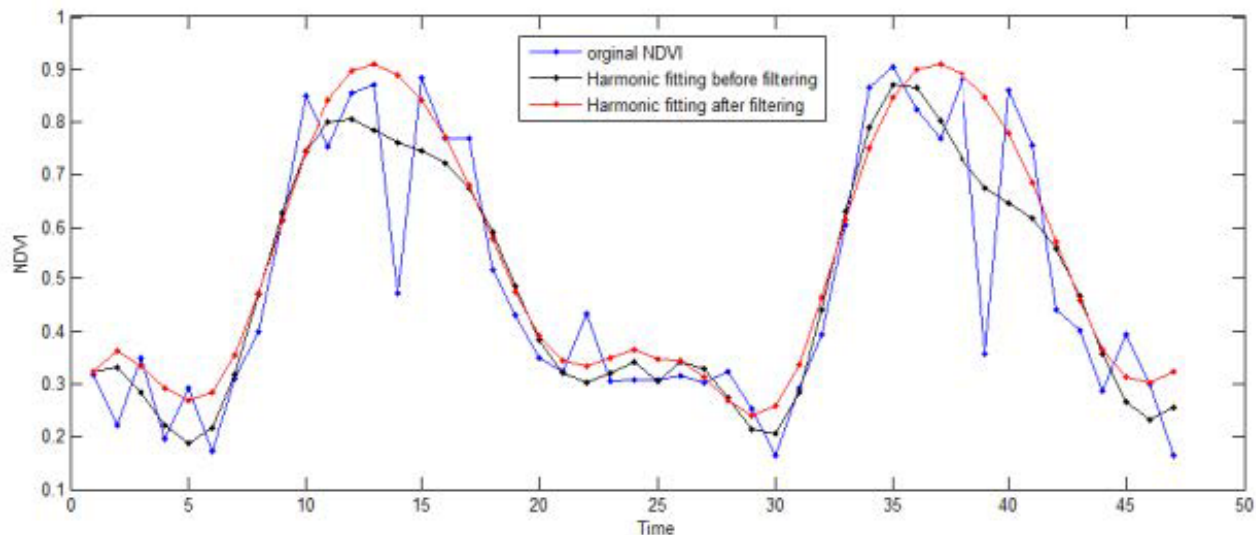
Harmonijska analiza NDVI podataka koristi se za identifikaciju sezonskih obrazaca i razumijevanje vegetacijskih dinamika. Pettorelli et al. koristili su NDVI za procjenu ekoloških



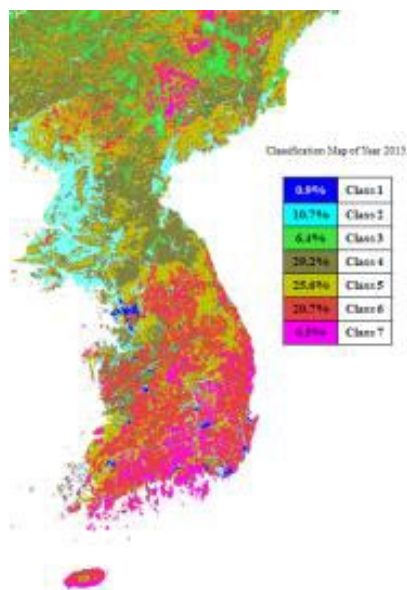
odgovora na promjene u okolišu. Njihovo istraživanje pokazalo je da harmonijska analiza može biti učinkovit alat za identifikaciju sezonskih promjena u vegetacijskom pokrovu i praćenje reakcija ekosustava na klimatske promjene [6].

Jedan od ključnih primjera primjene harmonijske analize u praćenju vegetacije je rad Jönssona i Eklundha. U Njihovoj studiji, harmonijska analiza NDVI podataka korištena je za identifikaciju sezonskih obrazaca vegetacijskog pokrova u različitim klimatskim zonama. Analiza je pokazala da harmonijska dekompozicija može pomoći u preciznijem praćenju dinamike vegetacije kroz cijelu godinu, omogućujući identificiranje ključnih faza rasta cvjetanja i opadanja vegetacije [11].

Još jedan značajan primjer primjene harmonijske analize u daljinskim istraživanja je rad Myunghee Jung i Sang-Hoon Lee. Razvili su metodu za klasifikaciju zemljišta koristeći harmonijski model i NDVI vremenske serije. Metoda karakterizira sezonske promjene u vremenskim serijama pomoću četiri komponente: srednja razina, frekvencija, faza, i amplituda. Ova metoda je testirana na MODIS podacima i pokazala je značajan potencijal za klasifikaciju zemljišnih pokrova na temelju vremenskih serija. U sklopu istraživanja također je proveden postupak rekonstrukcije NDVI vremenske serije kako bi se uklonili šumovi uzrokovani atmosferskim efektima i anizotropijom površine. Ovi šumovi se manifestiraju kao abnormalno visoke ili niske vrijednosti u vremenskom toku podataka, a identifikacija je obavljena pomoću prve derivacije NDVI vrijednosti, nakon čega je monotona oscilacija podataka analizirana normalnom distribucijom, gdje su točke koje odstupaju od normalne distribucije identificirane kao šum. U postupku rekonstrukcije NDVI vremenske serije provedena je prilagodba tih vrijednosti kako bi se poboljšala točnost klasifikacije. Korištenje ove metodologije može biti korisno za analizu sezonskih obrazaca i identificiranje promjena u vegetacijskom pokrovu, što je od posebnog značaja u kontekstu klimatskih promjena.



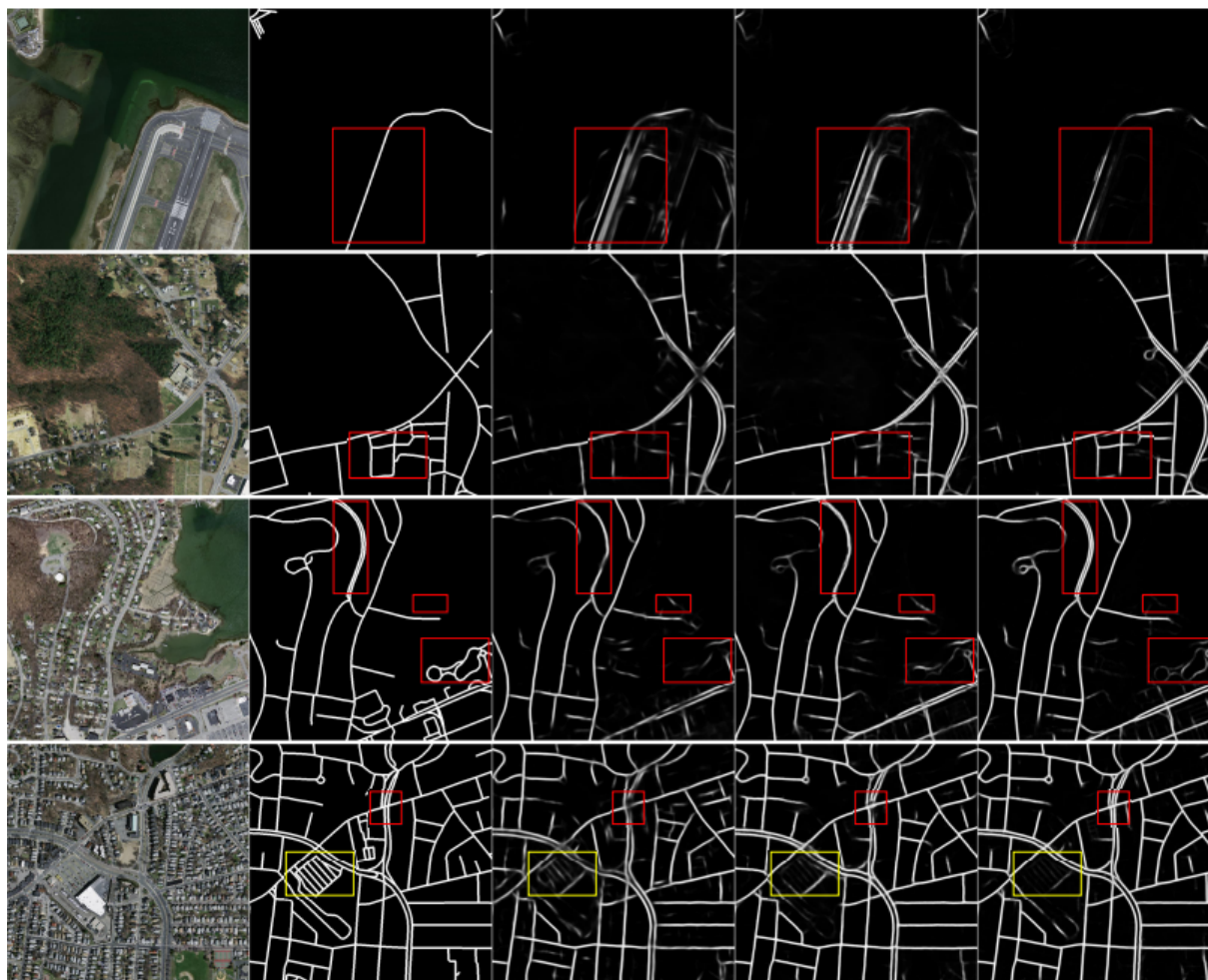
Slika 2.5. Graf NDVI vrijednosti, Jung, Lee



Slika 2.6. Rezultat klasifikacije., Jung, Lee

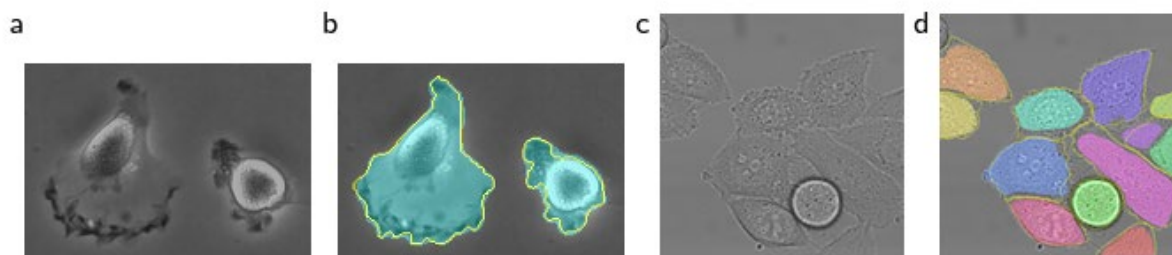
Segmentacija satelitskih snimki je važan korak u analizi zemljišnih pokrova i upravljanju prirodnim resursima. Zhang et al. koristili su duboke rezidualne U-Net mreže za segmentaciju cesta na satelitskim snimkama. Njihova metoda pokazala je visoku točnost i pouzdanost u

identifikaciji cestovne mreže, što ukazuje na potencijal dubokog učenja za segmentaciju kompleksnih slika [8].



Slika 2.7. Rezultati Zhang et al.

U drugom istraživanju, Ronneberger et al. razvili su U-Net arhitekturu za biomedicinsku segmentaciju slika, koja je kasnije primijenjena i na satelitske snimke. U-Net se pokazao kao učinkovit model za segmentaciju zahvaljujući svojoj sposobnosti da uči značajke na različitim razinama rezolucije i generira precizne segmentacijske maske [9].



Slika 2.8. Rezultati Ronnenberger et al.

Segment Anything Model (SAM) predstavlja napredni pristup segmentaciji slika koristeći duboko učenje. Kirillov et al. razvili su SAM kako bi omogućili fleksibilnu i točnu segmentaciju širokog spektra slika. SAM koristi višeslojnu arhitekturu i obučava se na velikim skupovima podataka, što mu omogućuje da prepozna širok spektar objekata i scena. Njegova fleksibilnost i skalabilnost čine ga idealnim alatom za segmentaciju satelitskih snimki [3].

Usporedba različitih pristupa segmentaciji slika pokazuje prednosti i ograničenja svake metode. Tradicionalne metode segmentacije, kao što su segmentacija temeljena na pragu i metoda razdvajanja rubova, jednostavne su za implementaciju, ali mogu biti ograničene u složenim slikama s mnogo varijacija. Suvremene metode koje koriste duboko učenje, poput U-Net i SAM, pokazale su se učinkovitijima u segmentaciji kompleksnih slika zahvaljujući svojoj sposobnosti učenja složenih značajki iz podataka [5, 10, 11].

Kombinacija harmonijske analize NDVI podataka s dubokim učenjem može značajno poboljšati rezultate segmentacije. Harmonijska analiza omogućuje identifikaciju ključnih sezonskih obrazaca i izdvajanje značajki koje se mogu koristiti za rekoloriranje satelitskih snimki. Rekolorirane snimke pružaju bolju vizualnu diferencijaciju između različitih tipova vegetacije i drugih zemljišnih površina, što može poboljšati rezultate segmentacije kada se koriste napredni modeli poput SAM-a [8, 5].

Prethodna istraživanja pokazuju da kombinacija naprednih tehnika obrade podataka može značajno poboljšati rezultate segmentacije satelitskih snimki. Harmonijska analiza pruža detaljan uvid u sezonske obrasce vegetacije, dok modeli dubokog učenja poput SAM-a

omogućuju preciznu segmentaciju slika. Ova kombinacija metoda može pružiti nove uvide u ekološke procese i pomoći u upravljanju prirodnim resursima [8, 5, 10, 11].

### 3. METODOLOGIJA

U ovom poglavlju detaljno su opisani koraci prikupljanja, pripreme, i obrade podataka koji su korišteni u istraživanju. Značaj je stavljen na predobrade podataka, izračun NDVI-a, harmonijsku analizu te segmentaciju pomoću Segment Anything Modela (SAM).

#### 3.1 Prikupljanje i priprema podataka

Podaci korišteni u ovom istraživanju su PlanetScope satelitske snimke visoke prostorne rezolucije za područje Varaždina. Snimke pokrivaju razdoblje od pola godine, s ukupno šest snimki snimljenih na datume 19. lipnja, 20. srpnja, 21. kolovoza, 10. rujna, 22. listopada i 29. prosinca.

PlanetScope sateliti su dio konstelacije koju upravlja Planet Labs i koja omogućuje dnevno snimanje cijele Zemlje. Visoka prostorna rezolucija omogućuje detaljnu analizu promjena u okolišu na lokalnoj razini [URL 2].

Satelitske snimke korištene u ovom radu sadrže multispektralne podatke, uključujući crveni (RED) i bliski infracrveni (NIR) spektralni kanal koji su potrebni za računanje NDVI-a. Svaka snimka je pohranjena u GeoTIFF formatu, što omogućuje jednostavnu manipulaciju i analizu u GIS softverima, poput QGIS-a koji je korišten u ovom istraživanju i bibliotekama za obradu slika u Pythonu.

Prikupljanje i priprema podataka obuhvaća prikupljanje satelitskih snimaka, nakon što su snimke prikupljene one su pregledane da bi se osigurala kvaliteta i geografska točnost, nakon čega su spremne za daljnju analizu.

#### 3.2 Predobrada satelitskih snimki

Predobrada satelitskih snimki je ključni korak u osiguravanju kvalitete i točnosti podataka prije primjene daljnjih analitičkih metoda. U ovom radu, predobrada uključuje vizualnu analizu snimki te rezanje snimki na određeno područje interesa.

Predobrada je obavljena u QGIS-u, GIS softveru otvorenog koda koji omogućuje manipulaciju i analizu georeferenciranih podataka [4]. Proces predobrade uključivao je sljedeće korake:

1. Umetanje satelitskih snimki u QGIS: Satelitske snimke su učitane u QGIS kako bi se vizualizirale i kako bi se provjerila njihova geografska točnost. Ovo je prvi korak koji omogućuje pregled podataka i identifikaciju eventualnih problema s kvalitetom snimki.
2. Kreiranje vektorskog sloja za poligon obuhvata: Kreiran je vektorski sloj koji sadrži poligon obuhvata područja interesa. Poligon definira granice područja koje će biti analizirano, čine se osigurava analiza samo relevantnog dijela snimki.
3. Rezanje satelitskih snimki: Koristeći poligon obuhvata, satelitske snimke su izrezane kako bi se smanjila veličina podataka za daljnju analizu. Ovaj korak je bio nužan zbog računske zahtjevnosti harmonijske analize i segmentacije. Rezanje je napravljeno pomoću QGIS-ovog alata „Clip Raster by Mask Layer“

Nakon što su provedeni koraci predobrade satelitskih snimki, spremljene su u GeoTIFF formatu, te je nastavljena daljnja analiza.



*Slika 3.1. Izvorna satelitska snimka izrezana na poligon obuhvata*

### 3.3 Izračun NDVI-a

U PlanetScope satelitskim snimkama crveni kanal je zapravo šesti kanal snimke, a bliski infracrveni osmi kanal.

Izračun NDVI-a je obavljen na platformi Google Colaboratory korištenjem Python programskog jezika i rasterio biblioteke. GeoTIFF datoteke su učitane na Google Colaboratory, te su nakon toga dostupne za obradu na samoj platformi.

Biblioteka rasterio korištena je za čitanje GeoTIFF podataka. U prilogu 1, metoda „load\_bands“ učitava crveni i NIR kanal svake snimke, te sprema metapodatke slike u varijablu „profile“ koja se kasnije koristi za spremanje rezultata. NDVI se računa pomoću metode „calculate\_ndvi“ koja računa NDVI na temelju prethodno napisane formule. Rezultati se spremaju pomoću metode „save\_ndvi“ koja koristi metapodatke iz izvorne datoteke za kreiranje nove GeoTIFF datoteke s NDVI vrijednostima. Ova datoteka se sprema u izlazni direktorij koji je definiran u varijabli „output\_directory“



*Slika 3.2. NDVI satelitske snimke poligona obuhvata*



### 3.4 Harmonijska analiza NDVI vrijednosti

Harmonijska analiza NDVI podataka koristi se za identifikaciju sezonskih obrazaca u vegetacijskom pokrovu. Korištenje harmonijske analize omogućuje izdvajanje ključnih komponenti kao što su amplituda, faza i srednja vrijednost, koje se kasnije koriste za rekoloriranje satelitskih snimki. Ova metoda pruža dublji uvid u dinamiku vegetacije i pomaže u boljem razumijevanju ekoloških procesa.

Koraci provođenja harmonijske analize su sljedeći:

1. Priprema NDVI podataka: NDVI podaci prikupljeni iz šest različitih datuma pretvaraju se u vremenske serije za svaki piksel. Ovo omogućuje analizu sezonskih obrazaca za svaku točku satelitske snimke.
2. Definiranje harmonijskog modela: Harmonijska funkcija koristi se za prilagodbu vremenskim serijama NDVI podataka. Modeliranje harmonijske funkcije omogućuje izdvajanje amplitude, faze, i srednje vrijednosti NDVI za svaki piksel.
3. Izdvajanje harmonijskih komponenti: Nakon prilagodbe harmonijske funkcije, računaju se amplitude, faze, i srednje vrijednosti za svaki pojedini piksel. Ove komponente se koriste za rekoloriranje satelitske snimke, čime se poboljšava vizualna interpretacija podataka prilikom segmentacije.

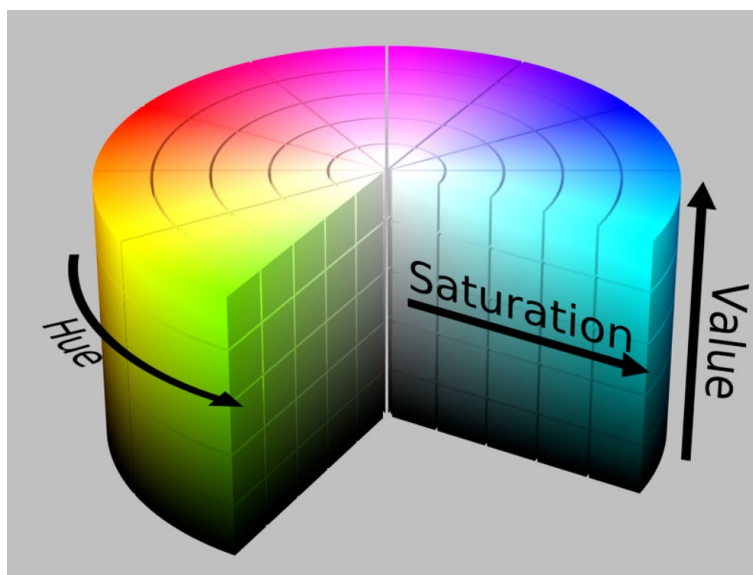
Harmonijska analiza implementirana je korištenjem Python programskog jezika te rasterio, numpy, skimage, scipy i colorsys biblioteka, sama analiza je zbog računске zahtjevnosti provedena na Google Colaboratoryu.

U prilogu 2, izračunati NDVI podaci učitavaju se iz GeoTIFF datoteka te normaliziraju na najmanji oblik da bi se osigurala konzistentnost podataka. Definiira se harmonijska funkcija koja se prilagođava vremenskim serijama NDVI podataka za svaki piksel, funkcija koristi sinusoidni model za identifikaciju sezonskih obrazaca. Za svaki piksel u datoteci, harmonijska funkcija se prilagođava pomoću funkcije „curve\_fit“ iz scipy biblioteke. Ona omogućuje precizno računanje amplitude, faze, i srednje vrijednosti NDVI za svaki piksel. Izdvojene amplitude, faze i srednje vrijednosti NDVI se normaliziraju u raspon [0,1], te se pretvaraju u

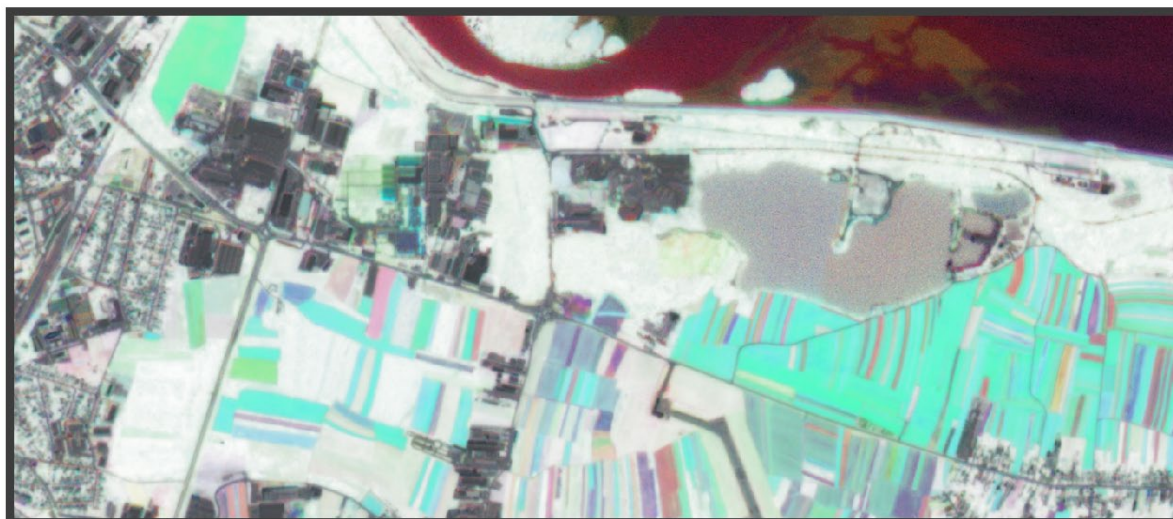
HSL vrijednosti koje se koriste za rekoloriranje satelitskih snimki. Rekoloriranje je provedeno pomoću „hsl\_to\_rgb“ funkcije colorsys biblioteke. Nakon što je provedeno rekoloriranje, vrijednosti su skalirane na raspon [0-255] i spremljene kao GeoTIFF pomoću rasterio biblioteke. HSL je popularan model predstavljanja boja u trodimenzionalnom prostoru koji se koristi za opisivanje ljudske percepcije boja. HSL model definira boje na temelju tri glavne komponente:

1. Nijansa (Hue): Nijansa predstavlja osnovnu boju koja se može promatrati i mjeri se kao kut u stupnjevima na standardnom krugu boja, koje idu od 0° do 360°. Crvena boja se tako nalazi na 0°, zelena na 120°, a plava na 240°.
2. Zasićenje (Saturation): Zasićenje predstavlja intenzitet odnosno čistoću boje, mjeri se u postotcima ili vrijednostima od nula do jedan, na vrijednosti nula boja je potpuno siva, na vrijednosti jedan je boja najintenzivnija.
3. Svjetlina (Lightness): Svjetlina predstavlja koliko je boja svijetla ili tamna. Svjetlina se također mjeri u postotcima ili u vrijednostima od nula, koja je potpuno crna, do jedan, koja je potpuno bijela, srednje vrijednosti predstavljaju različite nijanse sive.

Zbog cikličnosti faze koja se izdvaja prilikom harmonijske analize predstavlja nijansu piksela, zasićenje je predstavljeno amplitudom, svjetlina je predstavljena srednjom vrijednosti NDVI-a za pojedini piksel.



Slika 3.3. Slikoviti prikaz HSL modela boja



Slika 3.4. Rezultat harmonijske analize i rekoloriranja HSL vrijednostima

Prednosti harmonijske analize:

- Detaljna analiza: Harmonijska analiza omogućuje detaljnu analizu sezonskih promjena u vegetaciji. Izdvajanje amplitude, faze i srednje vrijednosti pruža dublji uvid u dinamiku vegetacijskog pokrova.

- Poboljšanje vizualizacije: Rekoloriranje na temelju harmonijskih komponenti poboljšava vizualnu interpretaciju satelitskih snimki prilikom segmentacije, te omogućuje bolju diferencijaciju između različitih tipova vegetacije.

Izazovi harmonijske analize:

- Računska zahtjevnost: Proces harmonijske analize je računski intenzivan, te je tako i mali dio satelitske snimke koji je obrađen u ovom istraživanju zahtjeva nekoliko sati obrade.
- Kvaliteta ulaznih podataka: Kvaliteta harmonijske analize ovisi o kvaliteti ulaznih NDVI podataka. Pogreške u podacima utječu na točnost izdvojenih harmonijskih komponenti.

Harmonijska analiza NDVI podataka pruža detaljan uvid u sezonske promjene vegetacijskog pokrova. Korištenjem sinusoidnog modela moguće je precizno identificirati i kvantificirati ove promjene, što omogućuje bolje razumijevanje ekoloških procesa i podršku za donošenje odluka u upravljanju prirodnim resursima. Integracija harmonijskih komponenti u proces rekoloriranja satelitskih snimki poboljšava vizualnu interpretaciju podataka i omogućuje precizniju segmentaciju zemljišta pomoću naprednih modela dubokog učenja poput SAM-a.

## 4. SEGMENTACIJA SATELITSKIH SNIMKI

Segmentacija satelitskih snimki predstavlja ključan korak u analizi satelitskih snimaka. Cilj segmentacije je razdvajanje različitih objekata ili regija unutar satelitske snimke kako bi se olakšala daljnja analiza i interpretacija podataka. U ovom istraživanju, segmentacija se provodi pomoću Segment Anything Model-a (SAM), naprednog modela za segmentaciju slika razvijenog od strane Meta.

### 4.1 Primjena Segment Anything Model-a

Segment Anything Model (SAM) koristi duboko učenje za segmentaciju slika, omogućujući precizno razdvajanje objekata unutar slike. SAM koristi arhitekturu temeljenu na konvolucijskim neuralnim mrežama (CNN), što mu omogućuje da prepozna i segmentira složene oblike i teksture unutar satelitskih snimki [3]. Primjena uključuje sljedeće korake:

1. Priprema podataka: Satelitske snimke, kako originalne tako i rekolorirane, pripremaju se za segmentaciju. To uključuje učitavanje snimki i njihovo pretvaranje u odgovarajući format za unos u model. Priprema podataka je ključan korak jer osigurava da su slike u ispravnom formatu i kvaliteti za obradu. U praksi, ovaj korak može uključivati različite aktivnosti poput kalibracije podataka, georeferenciranja i uklanjanja šuma, što sve doprinosi kvaliteti ulaznih podataka za segmentaciju [5].
2. Konfiguracija modela: SAM se konfigurira s odgovarajućim parametrima kako bi se optimizirala preciznost segmentacije. Ovi parametri uključuju broj slojeva, veličinu batch-a, broj iteracija i druge hiperparametre koji utječu na rad modela. Pravilna konfiguracija modela je važna kako bi se postigla optimalna ravnoteža između preciznosti segmentacije i računske učinkovitosti. Parametri modela podešavaju se iterativno, testiranjem različitih kombinacija kako bi se pronašli najbolji rezultati za specifične karakteristike satelitskih snimki [6].
3. Provođenje segmentacije: Model se primjenjuje na satelitske snimke kako bi se identificirale i segmentirale različite regije unutar snimke. Segmentacija se provodi iterativno kako bi se postigla maksimalna preciznost. SAM koristi napredne algoritme

za prepoznavanje obrazaca i granica između različitih objekata unutar slike, što omogućuje visoku točnost segmentacije [3]. Tokom ovog koraka, model identificira različite karakteristike unutar slike, kao što su granice poljoprivrednih parcela, šumski pokrov, vodeni tokovi i drugi elementi koji se mogu jasno definirati na temelju njihovih spektralnih svojstava [7].

4. Pohrana rezultata: Segmentirane slike spremaju se za daljnju analizu i usporedbu. Rezultati segmentacije uključuju masku segmentacije koja prikazuje razdvojene regije unutar snimke. Pohrana rezultata u prikladnom formatu omogućuje jednostavnu daljnju analizu i usporedbu različitih metoda segmentacije [2]. Spremanje rezultata u formatu koji omogućuje lako čitanje i obradu podataka, u ovom slučaju Geopackage, osigurava da se podaci mogu koristiti u GIS softverima za daljnju analizu i vizualizaciju [8].

Segment Anything Model koristi napredne tehnike dubokog učenja kako bi osigurao visoku točnost i robusnost segmentacije. Njegova sposobnost prepoznavanja složenih obrazaca i tekstura unutar slika čini ga idealnim alatom za analizu satelitskih snimki. SAM je dizajniran tako da se može prilagoditi različitim vrstama podataka, što ga čini fleksibilnim alatom za širok spektar primjena [3, 8].

Primjena SAM-a na satelitske snimke omogućuje detaljno proučavanje različitih tipova zemljišta, vegetacije i drugih objekata. Precizna segmentacija je ključna za mnoge aplikacije, uključujući praćenje promjena u okolišu, upravljanje prirodnim resursima i planiranje urbanih područja [4]. Na primjer, segmentacija poljoprivrednih područja omogućava precizno praćenje stanja usjeva, dok segmentacija urbanih područja pomaže u planiranju i razvoju infrastrukture [9].

U segmentaciji satelitskih snimki, posebno je važno osigurati da su rezultati konzistentni i reproducibilni. SAM postiže to korištenjem naprednih metoda za obradu slika i strojnog učenja, što omogućuje postizanje visoke razine preciznosti i pouzdanosti rezultata [6]. Konzistentnost rezultata je ključna za pouzdanu analizu vremenskih serija podataka, što omogućuje praćenje promjena kroz vrijeme s visokim stupnjem točnosti [10].

U ovom istraživanju, korišten je Python programski jezik, i segment-geospatial biblioteka, segmentacija je zbog računske zahtjevnosti provedena na Google Colaboratoryu, kao i harmonijska analiza. U prilogu 3, proces segmentacije se sveo na učitavanje rekolorirane satelitske snimke na Google Colaboratory, postavljanja putanje satelitske snimke u varijablu `image`, postavljanje argumenata segmentacije u varijablu `sam_kwargs`, te provođenje segmentacije pomoću „`sam.generate`“ funkcije. Rezultat funkcije je GeoTIFF datoteka, koja je pretvorena u vektorski Geopackage format zbog daljnje analize u QGIS-u. Segmentacija je provedena na izvornoj snimci i na rekoloriranoj snimci radi daljnje analize i usporedbe.

## 4.2 Parametri segmentacije

Segmentacija satelitskih snimki pomoću Segment Anything Model (SAM) zahtijeva pažljivo podešavanje parametara kako bi se postigli optimalni rezultati. Parametri segmentacije određuju kako će model prepoznavati i razdvajati različite regije unutar slike. U ovom poglavlju detaljno ćemo opisati ključne parametre korištene u ovom istraživanju i kako su oni podešavani za postizanje najbolje performanse.

1. `points_per_side`: Broj točaka po strani koristi se za definiranje gustoće točaka koje se koriste za segmentaciju. U ovom istraživanju, ovaj parametar je podešen na 25, što omogućuje fino razdvajanje različitih regija unutar satelitske snimke [3].
2. `pred_iou_thresh`: Prag za predikciju točnosti (IoU - Intersection over Union) koji model koristi za filtriranje rezultata. Prag je postavljen na 0.92, što osigurava visoku preciznost u segmentaciji, filtrirajući manje precizne segmentacije [3].
3. `stability_score_thresh`: Prag za stabilnost segmentacije, što pomaže u eliminaciji nestabilnih segmentacija. Postavljen na 0.90, ovaj prag osigurava da se samo stabilne i pouzdane segmentacije uzimaju u obzir [3].
4. `crop_n_layers`: Broj slojeva usjeva koristi se za višestruko segmentiranje slike na različitim razinama detalja. U ovom istraživanju, ovaj parametar je postavljen na 1, što omogućuje jednostavniju segmentaciju bez previše slojeva koji bi mogli unijeti šum [3].

5. `crop_n_points_downscale_factor`: Faktor smanjenja broja točaka za višestruke segmente. Postavljen na 2, ovaj parametar pomaže u smanjenju broja točaka koje se koriste za segmentaciju, čime se optimizira računaska učinkovitost [3].
6. `min_mask_region_area`: Minimalna površina maske segmenta koja se uzima u obzir prilikom segmentacije. Postavljen na 300, ovaj parametar osigurava da se samo segmenti s dovoljno velikom površinom uzimaju u obzir, eliminirajući male, nevažni segmente [3].

Parametri segmentacije podešavani su iterativnim procesom kako bi se postigli optimalni rezultati. Svaki od ovih parametara testiran je i podešavan na temelju eksperimentalnih rezultata kako bi se postigla najbolja ravnoteža između preciznosti i računске učinkovitosti. Proces podešavanja uključivao je eksperimentalno testiranje u kojem je svaki parametar testiran pojedinačno i u kombinaciji s drugim parametrima kako bi se utvrdio njegov utjecaj na rezultat segmentacije. Segmentirane slike su analizirane vizualno kako bi se procijenilo kako promjene parametara utječu na segmentaciju. Proces je iterativno ponavljan dok rezultati segmentacije nisu bili zadovoljavajući.



*Slika 4.1. Loše segmentirana satelitska snimka*



## 5. REZULTATI

### 5.1 NDVI analiza

NDVI se koristi za procjenu zdravlja vegetacije na temelju satelitskih snimki. U ovom istraživanju, NDVI je izračunat za šest različitih datuma unutar perioda od pola godine, točnije za 19. lipnja, 20. srpnja, 21. kolovoza, 10. rujna, 22. listopada i 29. prosinca.



*Slika 5.1. NDVI satelitske snimke 19. lipnja*



*Slika 5.2. NDVI satelitske snimke 20. srpnja*



*Slika 5.3. NDVI satelitske snimke 21. kolovoza*



*Slika 5.4. NDVI satelitske snimke 10. rujna*



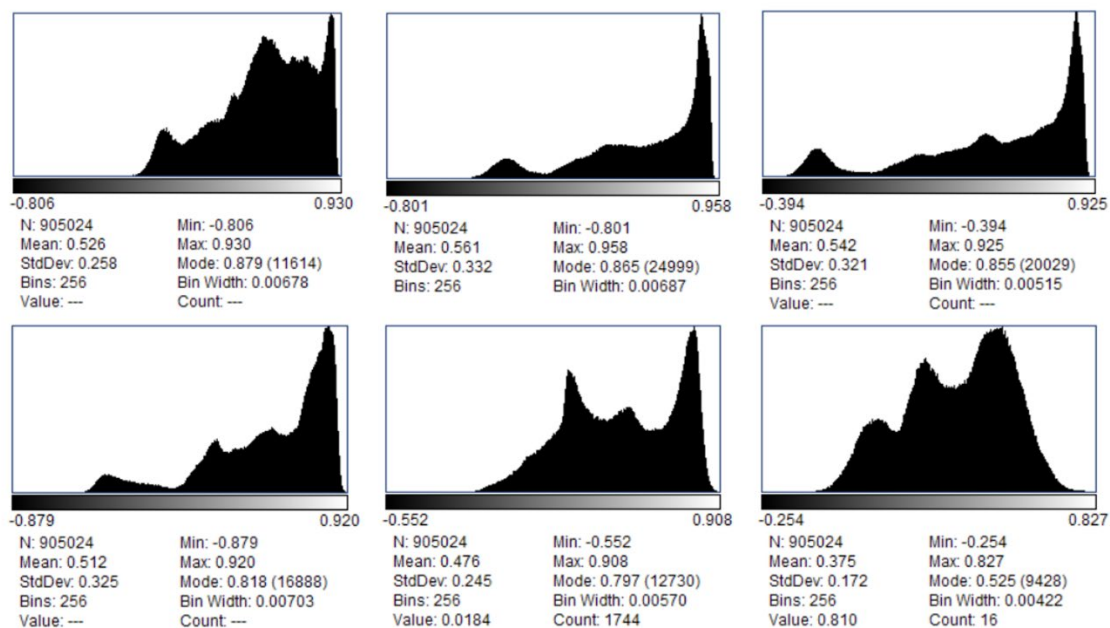
*Slika 5.5. NDVI satelitske snimke 22. listopada*



*Slika 5.6. NDVI satelitske snimke 29. prosinca*

Analiza NDVI vrijednosti pruža uvid u sezonske promjene vegetacije, što je od značajne važnosti za praćenje zdravlja ekosustava, poljoprivredne proizvodnje i ekoloških istraživanja. Rezultati ukazuju na to da su u ljetnim mjesecima vrijednosti NDVI-a najviše, što ukazuje bujnu i zdravu vegetaciju. Ovo je očekivano s obzirom da su uvjeti rasta tijekom ljeta optimalni. U jesenskim mjesecima vidljiv je blagi pad NDVI vrijednosti, što sugerira početak opadanja

vegetacije zbog kraćeg trajanja dana i nižih temperatura. U prosincu NDVI vrijednosti su značajno niže, što ukazuje na smanjenje vegetacijske aktivnosti.



Slika 5.7. Histogrami NDVI vrijednosti

## 5.2 Vizualna usporedba rezultata

Vizualna usporedba originalnih i rekoloriranih snimki segmentiranih pomoću Segment Anything Model-a (SAM) omogućuje kvalitativnu procjenu učinkovitosti rekoloriranja.



*Slika 5.8. Segmentacija izvorne snimke*

Slika 5.8. prikazuje rezultate segmentacije izvedene na izvornoj satelitskoj snimci na kojoj nije provedeno rekoloriranje. Na slici je vidljivo da je model uspješno segmentirao velik dio snimke, ali generalno cijela slika ima problema sa sitnim neujednačenim poligonima koji su nastali kao rezultat segmentacije. Rezultati segmentacije također nisu ujednačeni, na lijevom dijelu snimke je vidljivo da su na nekim dijelovima uspješno segmentirani pojedini dijelovi grada, no samo neki krovovi su uspješno segmentirani. Po pitanju vodene površine na gornjem dijelu snimke, južni dio obale je uspješno segmentiran, no sjeverni dio obale nije najbolje segmentiran, te je obala nepotrebno podijeljena na dva dijela. Dijelovi snimke koji sadrže vegetaciju su na pojedinim dijelovima uspješno segmentirani, te se na snimci mogu jasno vidjeti granice upotrebe. Segmentacija prikazuje da su pojedini objekti identificirani, no granice između segmenata su ponekad nejasne. Vidljivo je također i da se vegetacijska područja znaju i spojiti ili biti djelomično prekriveni drugim segmentima. Segmentacija pokazuje relativno dobar rezultat, no segmenti su često previše općeniti i uključuju neželjene dijelove drugih područja.



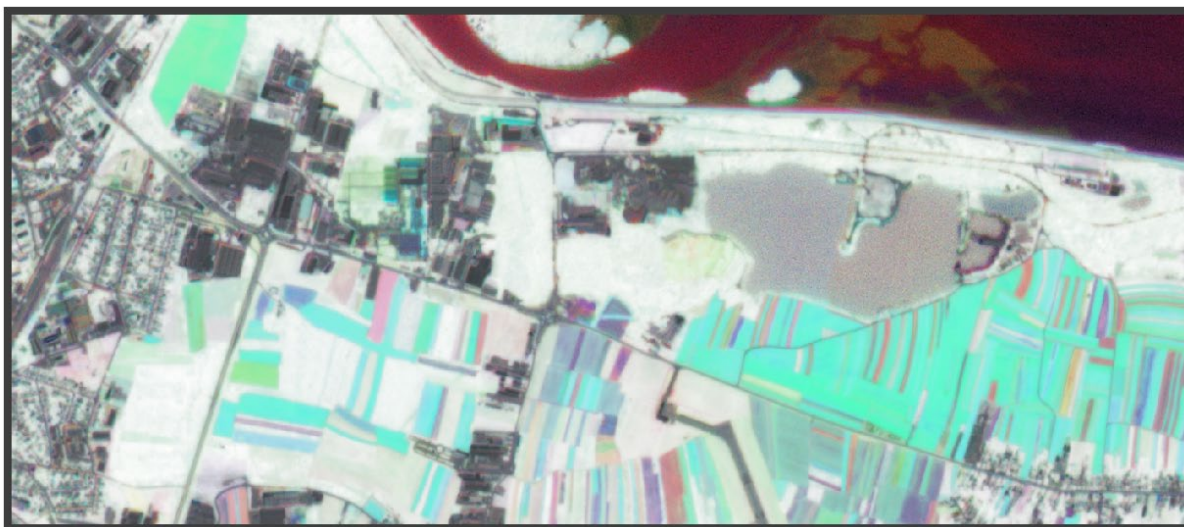
*Slika 5.9. Segmentacija rekolorirane snimke*

Slika 5.9. prikazuje rezultate segmentacije izvedene na rekoloriranoj satelitskoj snimci. Na slici je vidljivo da su granice između različitih segmenata preciznije definirane nego na izvornoj snimci. To ukazuje na poboljšanje u prepoznavanju i razdvajanju različitih tipova površina, što je izravna posljedica korištenja harmonijske analize i HSL rekoloriranja. Rekolorirana snimka koristi harmonijske komponente, što značajno poboljšava sposobnost razlikovanja između različitih tipova vegetacije i drugih površina. Samim time vidljivo je da su pojedine oranice dodatno segmentirane iz segmenta poljoprivredne površine. Područja šume su također bolje segmentirana, te su se prilikom segmentacije rekolorirane snimke segmentirale kao jedan poligon. Rezultati segmentacije pokazuju bolju diferencijaciju između poljoprivrednih površina i urbanih struktura, što je vidljivo u jasnim linijama razdvajanja između segmenata na rekoloriranoj slici u usporedbi s izvornom.

### **5.3 Usporedba rezultata segmentacije sa ARKOD-om**

U ovom poglavlju bit će uspoređeni rezultati segmentacije satelitskih snimki dobivene primjenom Segment Anything Modela (SAM) s podacima iz ARKOD sustava, koji predstavlja službenu evidenciju poljoprivrednog zemljišta u Republici Hrvatskoj. Cilj usporedbe je

evaluirati preciznost i učinkovitost segmentacije izvršene nad rekoloriranim HSL satelitskim snimkama te identificirati moguće razlike u odnosu na službene ARKOD podatke.



*Slika 5.10. Rekolorirana satelitska snimka*



*Slika 5.11. Rekolorirana satelitska snimka i rezultat segmentacije*



*Slika 5.12. Službeni ARKOD podaci*

Na prvi pogled, rezultati segmentacije pokazuju visoku razinu sukladnosti s ARKOD podacima, posebno u prepoznavanju većih poljoprivrednih čestica. Međutim, uočljive su i razlike, najviše na manjim česticama i granicama između čestica. Najveća odstupanja su primijećena na manjim česticama, gdje je SAM ponekad pokazao nepreciznosti u definiranju granica. Ova odstupanja se potencijalno mogu pripisati ograničenju modela. Također je vidljivo da je model naišao na problem prilikom segmentiranja livada, koje su u ARKOD-u označene zelenom bojom. To se može pripisati tome da je NDVI tijekom cijelog perioda visok, te se prilikom rekoloriranja takve čestice rekoloriraju u bijelu boju, koje SAM teže segmentira. Može se primijetiti da rekolorirana HSL snimka pokazuje detaljnije razlike između različitih tipova zemljišta, što može pomoći u boljem identificiranju specifičnih vrsta čestica koje ARKOD podaci ne prepoznaju, na primjer, područja s različitim vegetacijskim pokrovima mogu se jasnije razlikovati na rekoloriranim snimkama, što može pomoći u boljoj kategorizaciji zemljišta.

Zaključno, segmentacija pomoću SAM-a pokazala je visoku razinu ročnosti u usporedbi s ARKOD podacima, posebno za veće čestice ili za skupove čestica. Iako su uočena odstupanja, rezultati pokazuju da se rekolorirana HSL snimka i primjena SAM-a može značajno poboljšati točnost prepoznavanja i kategorizacije zemljišta, što može biti korisno u daljnjim analizama i primjenama u poljoprivredi i upravljanju zemljištem.



## 5.4 Diskusija o prednostima i ograničenjima rekoloriranja

Uvođenje HSL rekoloriranja na temelju harmonijske analize NDVI podataka pokazalo se kao korisna tehnika za poboljšanje vizualne interpretacije satelitskih snimki i njihovih segmentacijskih rezultata. Ova metoda omogućila je bolje razlikovanje različitih vegetacijskih pokrova i drugih zemljišnih površina, što je posebno vidljivo u segmentaciji rekoloriranih snimki.

Prednosti rekoloriranja:

- Poboljšanje vizualne interpretacije – Rekoloriranje omogućuje jasniju diferencijaciju između različitih vrsta vegetacije i drugih zemljišnih površina, što olakšava vizualnu analizu snimki. Ovo je posebno korisno u područjima gdje su razlike u NDVI vrijednostima suptilne, a tradicionalne metode ne uspijevaju pružiti dovoljno informacija.
- Bolji rezultati segmentacije – Upotreba rekolorirane snimke dovela je do poboljšanja u rezultatu segmentacije, posebno kod identifikacije granica između različitih tipova zemljišta. Harmonijska analiza, u kombinaciji sa HSL rekoloriranjem omogućila je SAM-u precizniju identifikaciju segmenata.
- Fleksibilnost u primjeni – HSL rekoloriranje, kao metoda koja se temelji na univerzalnim parametrima, može se prilagoditi različitim vrstama podataka i različitim analizama, što ovu tehniku čini fleksibilnom za širok spektar primjena u daljinskom istraživanju.

Ograničenja rekoloriranja:

- Računska zahtjevnost – Proces rekoloriranja na temelju harmonijske analize NDVI podataka zahtjeva značajne računalne resurse, što može predstavljati problem prilikom obrade velike količine podataka. U ovom istraživanju, iako su podaci obrađeni na Google Colaboratoryu, vrijeme obrade i računski zahtjevi za rekoloriranje i segmentaciju su predstavili značajan faktor.

- Ovisnost o kvaliteti podataka – Uspjeh rekoloriranja uvelike ovisi o kvaliteti ulaznih NDVI podataka. Pogreške u prikupljanju ili obradi podataka, pokrivenost oblacima, i ostale poteškoće mogu negativno utjecati na konačne rezultate, čime bi se smanjila točnost segmentacije.
- Kompleksnost modeliranja – Harmonijska analiza pretpostavlja periodične sezonske promjene, što nije prikladno za sve tipove vegetacije ili zemljišta. Primjerice, vrijednost NDVI-a za urbano područje je tijekom cijelog perioda nisko, te se na rekoloriranoj snimci prikazuju crnom bojom. Dok su šume, livade, i pojedini tipovi vegetacije tijekom cijelog perioda imali visok NDVI, bez većih promjena, te su se prilikom analize i rekoloriranja prikazali bijelom bojom.

Valja se i osvrnuti na uzorak koji se može primijetiti u rekoloriranoj snimci u odnosu na podatke iz ARKOD sustava. Naime, analiza rekoloriranih snimki otkrila je zanimljiv obrazac u bojanju različitih vrsta zemljišta. Čestice koje su u ARKOD-u klasificirane kao oranice prikazuju se velikom većinom u cijan boji na rekoloriranoj snimci, s druge strane, čestice koje su u ARKOD-u označene kao livade na rekoloriranoj snimci prikazuju se gotovo potpuno bijele, što se odnosi i na šumske površine. Ovo sugerira da HSL rekoloriranje, temeljeno na harmonijskoj analizi NDVI podataka može poslužiti kao dodatni alat za preliminarnu identifikaciju vrsta zemljišta na satelitskim snimkama.

S obzirom da se čestice označene kao oranice u ARKOD sustavu prikazuju konzistentno u cijan boji na rekoloriranoj snimci, jedan od zanimljivih smjerova za buduća istraživanja bi bilo ispitivanje može li ista boja nakon rekoloriranja biti korištena kao pokazatelj specifične kulture koja se uzgaja na poljoprivrednoj površini. Na primjer, dodatno istraživanje moglo bi uključivati analizu različitih usjeva i njihovu povezanost s određenim nijansama u rekoloriranim snimkama, čime bi se mogao razviti model koji može automatski klasificirati vrste usjeva na temelju boja nakon rekoloriranja.

Ova opažanja pokazuju potencijal HSL rekoloriranja kao alata za poljoprivrednu analizu i upravljanje zemljištem, ali također naglašavaju potrebu za daljnjim istraživanjem i validacijom

kako bi se u potpunosti iskoristio potencijal ove metode u različitim primjenama daljinskih istraživanja

## 6. ZAKLJUČAK

Ovaj diplomski rad bavio se istraživanjem primjene naprednih metoda obrade satelitskih snimki u svrhu poboljšanja automatske segmentacije zemljišta. Fokus istraživanja bio je na korištenju Segment Anything Model-a u kombinaciji s harmonijskom analizom NDVI vrijednosti kako bi se unaprijedila preciznost segmentacije, posebno u kontekstu različitih vrsta vegetacijskih pokrova.

Provedene analize pokazale su da rekoloriranje satelitskih snimki na temelju harmonijskih komponenti može značajno poboljšati vizualnu interpretaciju podataka, čime se olakšava segmentacija. Posebno se ističe činjenica da je primjena SAM-a na rekolorirane snimke rezultirala boljim prepoznavanjem granica između različitih tipova zemljišta, kao što su oranice, livade i šumske površine. Ovo poboljšanje je posebno vidljivo u usporedbi s rezultatima segmentacije na originalnim, nerecoloriranim snimkama, gdje su granice bile manje jasno definirane.

Jedan od ključnih uvida u ovom radu je identifikacija uzoraka boja na rekoloriranoj snimci koji se čine povezani s određenim vrstama zemljišnog pokrova. Primjerice, cijan boja koja se pojavljuje na rekoloriranoj snimci, dosljedno se podudara s česticama identificiranim kao oranice u ARKOD sustavu, dok su područja livada i šuma gotovo bijele boje. Ova pojava otvara mogućnost da se određene boje nakon rekoloriranja mogu koristiti kao indikatori specifičnih kultura ili tipova zemljišta, što predstavlja smjer za buduća istraživanja.

Međutim, unatoč obećavajućim rezultatima, rad identificira izazove i ograničenja. Računska zahtjevnost harmonijske analize NDVI vrijednosti predstavlja jedan od tih izazova, posebno prilikom obrade velike količine podataka.

Dodatno, kvaliteta ulaznih podataka i preciznosti početnih modela imaju velik utjecaj na konačne rezultate segmentacije. U slučajevima kada su ulazni podaci opterećeni šumom ili nepreciznostima, rekoloriranje i harmonijska analiza mogu dovesti do pogrešnih interpretacija, što naglašava potrebu za validacijom i predobradom podataka prije analize.

Na temelju dobivenih rezultata, može se zaključiti da kombinacija harmonijske analize NDVI vrijednosti i SAM-a ima veliki potencijal za unapređenje segmentacije satelitskih snimki, ali zahtijeva daljnji razvoj i optimizaciju. U budućnosti, istraživanja bi se mogla usmjeriti na precizniju identifikaciju uzoraka boja u rekoloriranim snimkama te na razvoj bržih i efikasnijih algoritama za harmonijsku analizu. Također, daljnja istraživanja mogla bi uključivati integraciju dodatnih spektralnih indeksa i primjenu ovih metoda na različite vrste satelitskih podataka kako bi se povećala njihova primjenjivost u različitim geoinformacijskim kontekstima.

## PRILOZI

Kod za izračun NDVI-a (Prilog 1):

```
import rasterio
import os

def calculate_ndvi(red_band, nir_band):
    ndvi = (nir_band - red_band) / (nir_band + red_band)
    return ndvi

def load_bands(file_path, red_band_index=6, nir_band_index=8):
    # Otvaranje crvenog i NIR kanala
    with rasterio.open(file_path) as src:
        red_band = src.read(red_band_index)
        nir_band = src.read(nir_band_index)
        profile = src.profile
    return red_band, nir_band, profile

def save_ndvi(ndvi, profile, output_path):
    # Spremanje NDVI-a
    profile.update(dtype=rasterio.float32, count=1)

    with rasterio.open(output_path, 'w', **profile) as dst:
        dst.write(ndvi.astype(rasterio.float32), 1)

def main():
    output_directory = '/content/SNIMKE_7MJ_CROP_NDVI'

    os.makedirs(output_directory, exist_ok=True)

    tiff_files = ["/content/MERGED/06-19.tif",
                  "/content/MERGED/07-20.tif",
                  "/content/MERGED/08-21.tif",
                  "/content/MERGED/09-10.tif",
                  "/content/MERGED/10-22.tif",
                  "/content/MERGED/29-12.tif"]

    # Procesiranje svake snimke
    for file in tiff_files:
        red_band, nir_band, profile = load_bands(file)
        ndvi = calculate_ndvi(red_band, nir_band)
```

```
base_name = os.path.basename(file)
output_path = os.path.join(output_directory, f"NDVI_{base_name}")

save_ndvi(ndvi, profile, output_path)
print(f"Izračunat i spremljen NDVI za {file} kao {output_path}")

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Kod za harmonijsku analizu (Prilog 2):

```
import rasterio
import numpy as np
from skimage.transform import resize
from scipy.optimize import curve_fit
import colorsys

# Putanje za NDVI GeoTIFF datoteke
file_paths = ["/content/NDVIs/06-19-mali.tif",
              "/content/NDVIs/07-20-mali.tif",
              "/content/NDVIs/08-21-mali.tif",
              "/content/NDVIs/09-10-mali.tif",
              "/content/NDVIs/10-22-mali.tif",
              "/content/NDVIs/12-29-mali.tif"]

ndvi_data = []
shapes = []

# Pronalazak minimalni oblik
for file_path in file_paths:
    with rasterio.open(file_path) as src:
        ndvi = src.read(1)
        shapes.append(ndvi.shape)

# Određivanje najmanjeg oblika
min_shape = min(shapes, key=lambda x: x[0] * x[1])
print(f"Najmanji pronađeni oblik: {min_shape}")

# Čitanje i promjena veličine NDVI vrijednosti
for file_path in file_paths:
```

```
with rasterio.open(file_path) as src:
    ndvi = src.read(1)
    if ndvi.shape != min_shape:
        ndvi = resize(ndvi, min_shape, preserve_range=True,
                      anti_aliasing=True).astype(np.float32)
    ndvi_data.append(ndvi)

# Pretvaranje popisa u 3D NumPy niz (vrijeme x visina x širina)
ndvi_data = np.array(ndvi_data)

# Uklanjanje NaN i beskonačnih vrijednosti
ndvi_data = np.nan_to_num(ndvi_data, nan=0.0, posinf=0.0, neginf=0.0)

# Provjera oblika podataka
print(ndvi_data.shape)

# Datumi pretvoreni u dane od trenutka snimanja prve snimke
dates = np.array([0, 31, 63, 83, 125, 193])

# Harmonijska funkcija za prilagodbu
def harmonic_model(t, A, phi, C):
    T = 193 # Period, otprilike 6 mjeseci u danima
    return A * np.sin((2 * np.pi * t / T) + phi) + C

# Inicijalizacija nizova za spremanje prilagođenih parametara
height, width = ndvi_data.shape[1], ndvi_data.shape[2]
amplitude = np.zeros((height, width))
phase = np.zeros((height, width))
mean_ndvi = np.zeros((height, width))

# Definiranje središnjeg područja zbog izbjegavanja rubova
start_i, start_j = 10, 10
end_i, end_j = height - 10, width - 10

# Izračun ukupnog broja piksela za obradu zbog praćenja napretka
total_pixels = (end_i - start_i) * (end_j - start_j)
processed_pixels = 0

# Prilagodba modela za svaki piksel u zadanom području
for i in range(start_i, end_i):
    for j in range(start_j, end_j):
        y_data = ndvi_data[:, i, j]
        if not np.any(np.isnan(y_data)) and not np.any(np.isinf(y_data)):
```



```
try:
    # Prilagodba harmoniskog modela s početnim pretpostavkama
    popt, _ = curve_fit(harmonic_model, dates, y_data,
                       p0=[0.5, 0, np.mean(y_data)],
                       bounds=([0, -np.pi, -1], [1, np.pi, 1]))
    amplituda[i, j], phase[i, j], mean_ndvi[i, j] = popt
except Exception as e:
    print(f"Greška u prilagodbi piksela ({i}, {j}): {e}")
    amplituda[i, j], phase[i, j], mean_ndvi[i, j] = 0, 0,
np.mean(y_data)
    # Ažuriranje broja obrađenih piksela i ispis napretka
    processed_pixels += 1
    if processed_pixels % 100 == 0: # Ažuriranje napretka svakih 100
piksela
        progress = (processed_pixels / total_pixels) * 100
        print(f"Napredak: {progress:.2f}%")

# Provjera oblika prilagođenih parametara
print("Oblik prilagođenih parametara:", amplituda.shape, phase.shape,
mean_ndvi.shape)

# Pretvaranje parametara u HSL
# Normaliziranje faze u raspon [0, 1] za nijansu
hue = (phase + np.pi) / (2 * np.pi)

# Normaliziranje amplitude u raspon [0, 1] za zasićenje
saturation = amplituda / np.max(amplituda)

# Normaliziranje prosječnog NDVI-a u raspon [0, 1] za svjetlinu
lightness = (mean_ndvi - np.min(mean_ndvi)) / (np.max(mean_ndvi) -
np.min(mean_ndvi))

# Pretvorba HSL u RGB
rgb_image = np.zeros((height, width, 3))
for i in range(height):
    for j in range(width):
        h, s, l = hue[i, j], saturation[i, j], lightness[i, j]
        rgb_image[i, j] = colorsys.hls_to_rgb(h, l, s)

# Skaliranje RGB vrijednosti na 0-255 i spremanje kao GeoTIFF
rgb_image = (rgb_image * 255).astype(np.uint8)
with rasterio.open(file_paths[0]) as src:
    meta = src.meta.copy()
```

```
meta.update({
    'count': 3,
    'dtype': 'uint8',
    'height': height,
    'width': width,
    'nodata': None # Ažurirajte za nodata vrijednosti
})
with rasterio.open("recolored_image_full.tif", "w", **meta) as dst:
    for band in range(3):
        dst.write(rgb_image[:, :, band], band + 1)

print("Rekolorirana puna slika spremljena kao recolored_image_full.tif")
```

Kod za segmentaciju (Prilog 3):

```
%pip install segment-geospatial
import os
from samgeo import SamGeo, tms_to_geotiff, get_basemaps
image = "/content/SAT.tif"
sam_kwargs = {
    "points_per_side": 25,
    "pred_iou_thresh": 0.92,
    "stability_score_thresh": 0.90,
    "crop_n_layers": 1,
    "crop_n_points_downscale_factor": 2,
    "min_mask_region_area": 300,
}
sam = SamGeo(
    model_type="vit_h",
    checkpoint="sam_vit_h_4b8939.pth",
    sam_kwargs=sam_kwargs,
)
mask = "SAT_SEG.tif"
sam.generate(image, mask, foreground = True, batch = True,
            unique = True, erosion_kernel = (3,3))
vector = "SAT_SEG_VEK.gpkg"
sam.tiff_to_gpkg(mask, vector, simplify_tolerance=None)
```

## LITERATURA

Popis literature:

Jensen, J. R. (1996): *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Pearson.

Tucker, C. J. (1979): *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation*. *Remote Sensing of Environment*.

Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., et al. (2023). *Segment Anything Model (SAM)*. Facebook AI Research.

QGIS Development Team. (2023). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project.

Congedo, L. (2021). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*.

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005): *Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change*. *Trends in Ecology & Evolution*.

Eklundh, L., & Jönsson, P. (2015): *TIMESAT: A software package for time-series analysis and monitoring of satellite data*. *Computers & Geosciences*.

Zhang, Z., Liu, Q., & Wang, Y: (2018). *Road extraction by deep residual U-Net*. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*.

Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015): *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation*. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*.

Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015).:Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).

Jung, M., & Lee, S.-H. (2019): Land-cover Monitoring Using Time Series of Satellite Images Based on Harmonic Analysis. Proceedings of the 2019 International Conference on Civil Engineering, Mechanics and Materials Science (CEMMS 2019).

Popis URL-ova:

URL 1. [https://www.youtube.com/watch?v=8jwin-l\\_96A](https://www.youtube.com/watch?v=8jwin-l_96A)

URL 2. <https://earth.esa.int/eogateway>

URL 3. <https://segment-anything.com/>

URL 4. <https://colab.research.google.com/>

URL 5. <https://rasterio.readthedocs.io/en/stable/>

URL 6. <https://numpy.org/doc/stable/>

URL 7. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/>

URL 8. <https://docs.python.org/3/library/coloursys.html>

URL 9. <https://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/>

URL 10. <https://samgeo.gishub.org/samgeo/>

URL 11. [https://www.researchgate.net/publication/372136727\\_Utility-Aware\\_Load\\_Shedding\\_for\\_Real-time\\_Video\\_Analytics\\_at\\_the\\_Edge](https://www.researchgate.net/publication/372136727_Utility-Aware_Load_Shedding_for_Real-time_Video_Analytics_at_the_Edge)

URL 12. <https://www.planet.com/products/satellite-imagery-of-earth/>

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. PlanetScope satelitska snimka Varaždina .....	6
Slika 2.2. NDVI PlanetScope satelitske snimke područja Varaždina .....	9
Slika 2.3. Grafički prikaz NDVI vrijednosti i harmonijskog modela za odabrani piksel .....	10
Slika 2.4. Primjer slike segmentirane SAM-om.....	13
Slika 2.5. Graf NDVI vrijednosti, Jung, Lee.....	16
Slika 2.6. Rezultat klasifikacije., Jung, Lee .....	16
Slika 2.7. Rezultati Zhang et al. ....	17
Slika 2.8. Rezultati Ronnenberger et al.....	18
Slika 3.1. Izvorna satelitska snimka izrezana na poligon obuhvata .....	21
Slika 4.1. Loše segmentirana satelitska snimka .....	30
Slika 5.1. NDVI satelitske snimke 19. lipnja .....	31
Slika 5.2. NDVI satelitske snimke 20. srpnja .....	31
Slika 5.3. NDVI satelitske snimke 21. kolovoza.....	32
Slika 5.4. NDVI satelitske snimke 10. rujna .....	32
Slika 5.5. NDVI satelitske snimke 22. listopada.....	33
Slika 5.6. NDVI satelitske snimke 29. prosinca.....	33
Slika 5.7. Histogrami NDVI vrijednosti.....	34
Slika 5.8. Segmentacija izvorne snimke.....	35

---

Slika 5.9. Segmentacija rekolorirane snimke .....	36
Slika 5.10. Rekolorirana satelitska snimka .....	37
Slika 5.11. Rekolorirana satelitska snimka i rezultat segmentacije .....	37
Slika 5.12. Službeni ARKOD podaci.....	38