

# Analiza hiperspektralnih satelitskih snimki

---

**Kotris, Dominik**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:629487>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij Računarstvo**

**Analiza hiperspektralnih satelitskih snimki**

**Diplomski rad**

**Dominik Kotris**

**Osijek, 2020.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
<b>2. HIPERSPEKTRALNO SNIMANJE</b> .....	<b>2</b>
2.1. Prostorna razlučivost .....	3
2.2. Spektralna razlučivost .....	3
2.3. Vremenska razlučivost .....	3
2.4. Suvremene primjene hiperspektralnog snimanja .....	4
2.5.1. Procjena kvalitete i sigurnosti hrane.....	4
2.5.2. Medicinska kirurgija i dijagnoza .....	5
2.5.3. Precizna poljoprivreda .....	6
2.5.4. Upravljanje poplavama i vodnim resursima .....	8
2.5.5. Forenzičko ispitivanje dokumenata .....	10
2.5.6. Provjera vjerodostojnosti umjetničkih djela .....	11
2.5.7. Sektor obrane i domovinske sigurnosti.....	13
<b>3. COPERNICUS</b> .....	<b>15</b>
3.1. Sentinel misije .....	16
3.2. Sentinel-2 MSI.....	19
3.3. Mogućnost pristupa hiperspektralnim satelitskim snimkama .....	21
3.4. Preuzimanje hiperspektralnih satelitskih snimki .....	21
3.3.1. Sentinel Hub - EO Preglednik .....	24
<b>4. ANALIZA POLJOPRIVREDNIH KULTURA KORIŠTENJEM SATELITSKIH SNIMAKA</b> .....	<b>29</b>
4.1. Utjecaj klimatskih promjena na posijanim kulturama .....	30
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>34</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>35</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>40</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>41</b>
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>42</b>

## **1. UVOD**

U ovom diplomskom radu analizirat će se i detaljnije opisati potencijal hiperspektralnog snimanja generalno, a kroz pregled značajki dostupnih satelitskih sustava za snimanje Zemlje hiperspektralnim snimanjem bit će vidljivo koje satelitske misije omogućuju ovakav tip snimanja.

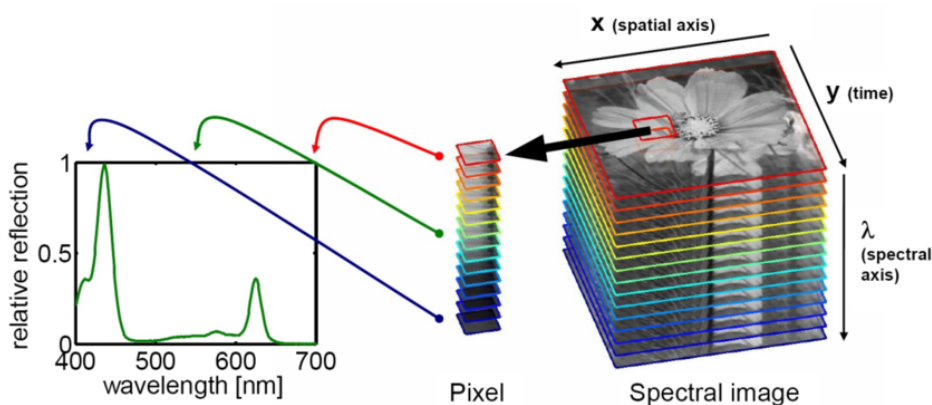
Tijekom nekoliko zadnjih desetljeća istraživači i znanstvenici su razvili velik broj tehnika za prikupljanje, analizu i obradu podataka za hiperspektralno snimanje i promatranje Zemlje. Lansiranje satelitskih misija Sentinel u sklopu Copernicus programa omogućuje otvoren, besplatan i globalan pristup hiperspektralnom satelitskom snimanju i promatranju Zemlje koji je dostupan za korištenje širokom spektru korisnika.

### **1.1. Zadatak završnog rada**

Istražiti i opisati teorijske osnove hiperspektralnog snimanja. Istražiti i opisati moguće primjene hiperspektralnog snimanja. Istražiti i opisati trenutno dostupne satelitske sustave za snimanje zemlje, koji od njih snimaju u hiperspektralnom načinu te koje su značajke kojeg sustava. U praktičnom dijelu rada, opisat će se i prikazati primjena hiperspektralnih satelitskih snimaka.

## 2. HIPERSPEKTRALNO SNIMANJE

Hiperspektralno snimanje (*engl. Hyperspectral Imaging - HSI*) kombinira snagu digitalnog snimanja i spektroskopije. Kao i drugi oblici spektralnog snimanja, hiperspektralno snimanje skuplja, klasificira i procesira informacije velikog dijela elektromagnetskog spektra. Cilj hiperspektralnog snimanja je očuvanje spektra za svaki pojedini pixel unutar neke snimke u svrhu pronalaska objekata, identifikacije materijala ili detekcije procesa [1]. Za razliku od ljudskog oka koje ima mogućnost registra samo vidljivog dijela svjetlosti unutar tri valne duljine zvane RGB (*engl. Red Green Blue*) - *Red* koja predstavlja dugu, *Green* koja predstavlja srednju i *Blue* koja predstavlja kratku valnu duljinu. Hiperspektralnim se snimanjem može osim vidljivog dijela spektra registrirati ultraljubičasto (*engl. UltraViolet - UV*) i infracrveno (*engl. InfraRed - IR*) područje elektromagnetskog zračenja. Na taj način, hiperspektralnim snimkama je moguće razlikovati različite nijanse boja koje bi inače ljudskome oku djelovale kao jedna boja. Kako bi podaci o zapisu elektromagnetskog zračenja uspješno doveli do prikaza gotove snimke, može se figurativno reći da hiperspektralni senzori takve informacije prikupljaju i tretiraju kao kolekciju slika. Svaka snimka individualno predstavlja uski pojas elektromagnetskog spektra, a kombinacija više takvih snimki tvori trodimenzionalnu ( $S_x, S_y, S_\lambda$ ) hiperspektralnu kocku podataka gdje prostorne koordinate  $x$  i  $y$  predstavljaju dimenziju scene, a spektralna os  $\lambda$  predstavlja dimenziju sastavljenu od valnih duljina.



Sl. 2.1. *Hiperspektralni kubus informacija [2]*

## **2.1. Prostorna razlučivost**

Prostorna razlučivost može se definirati kao mjera najmanjeg objekta koji senzor može detektirati ili kao linearna dimenzija na tlu koja je predstavljena svakim pikselom [3]. U stvarnim situacijama jasnoća, odnosno čistoća slike, izvedena je prostornom razlučivosti, a ne brojem piksela slike. Prostorne karakteristike slike ovise o dizajnu senzora i njegovom odnosu na vidno polje i nadmorsku visinu. Prostorna razlučivost obrnuto je proporcionalna veličini snimljenog uzorka. Što je veličina snimljenog uzorka manja, broj detalja koji se može interpretirati s promatrane scene je veći.

## **2.2. Spektralna razlučivost**

Spektralna razlučivost može se opisati kao broj spektralnih pojasa i doseg elektromagnetskog spektra mjereno senzorom. Senzor može reagirati na veliko frekvencijsko područje, ali i dalje imati nisku spektralnu rezoluciju ako dobije mali broj spektralnih pojasa. S druge strane, ako je senzor osjetljiv na mali frekvencijski opseg, a hvata velik broj spektralnih pojasa, tada ima visoku spektralnu rezoluciju zbog svoje sposobnosti razlikovanja elemenata scene koji imaju bliske ili slične spektralne potpise.

Multispektralne slike imaju nisku spektralnu rezoluciju onemogućujući tako razlučivanje finijeg spektralnog potpisa prisutnog na sceni. Senzori hiperspektralnog snimanja slike stječu u brojnim graničnim i izuzetno uskim spektralnim pojasi u srednjem i bliskom infracrvenom spektru, te vidljivim segmentima elektromagnetskog spektra. Ova vrsta naprednih sustava za slikanje pokazuje izniman potencijal za svrhu identifikacije materijala na temelju njihovih jedinstvenih spektralnih potpisa. Spektar jednog piksela na hiperspektralnoj slici može dati daleko više informacija o površini materijala za razliku od normalne slike.

## **2.3. Vremenska razlučivost**

U hiperspektralnom daljinskom mjerenju, vremenska razlučivost ovisi o orbitalnim karakteristikama slikovnog senzora. Općenito, vremenska razlučivost definira se kao vrijeme potrebno senzoru za ponovno posjećivanje i dobivanje podataka s točno iste lokacije.

## 2.4. Suvremene primjene hiperspektralnog snimanja

Nedavni napredak u dizajnu i brzini obrade senzora za hiperspektralna snimanja pripremio je put za širok raspon primjena koje koriste hiperspektralno snimanje. Taj raspon varira od satelitskog i zrakoplovnog daljinskog istraživanja i vojnih ciljeva pa sve do industrijske kontrole kvalitete i laboratorijskih primjena u modernoj medicini i biofizici. Zbog bogatog sadržaja informacija u hiperspektralnim slikama, one su prikladne za automatiziranu obradu slike, bilo da se radi o industrijskom nadzoru na mreži ili za daljinsko očitavanje.

Sljedeći primjeri [12] obuhvatit će pregled i staviti fokus na neke od suvremenih primjena HSI koje podrazumijevaju inspekciju kvalitete i sigurnosti hrane, medicinsku kirurgiju i dijagnozu, daljinsko mjerenje precizne poljoprivrede, upravljanje poplavama i vodnim resursima, forenziku, provjeru vjerodostojnosti umjetničkih djela te sektor obrane i domovinske sigurnosti.

### 2.5.1. Procjena kvalitete i sigurnosti hrane

Zbog rastuće potrebe za visokom učinkovitošću i niskim proizvodnim troškovima prehrambenih proizvoda, prehrambena se industrija suočava s brojnim izazovima poput osiguranja kvalitete i sigurnosti prehrambenih proizvoda uz izbjegavanje pitanja odgovornosti. Ispitivanjem različitih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava hrane, procjenjuje se kvaliteta i sigurnost hrane. Tradicionalne metode koje se temelje na vizualnom, kemijskom i biološkom pregledu hrane su destruktivne, zahtijevaju vrijeme, a u nekim slučajevima štete okolišu.

Napredak računalne tehnologije i instrumentacijskog inženjerstva omogućio je učinkovitiju i bržu procjenu hrane. Na primjer, metode računalnog vida i strojnog učenja korištenjem obrade slika u boji uspješno su aplicirane u procjeni vanjskih svojstava hrane, no ove metode nemaju mogućnost ispitivanja unutarnjih karakteristika hrane zbog nedostatka sposobnosti hvatanja širokih spektralnih informacija. S druge strane, spektroskopija bliskog infracrvenog područja (*engl. Near Infra-Red* - NIR) pomogla je prevladati ograničenja metoda temeljenih na strojnom vidu zbog uske povezanosti komponenata hrane i NIR spektra. Ipak, NIR spektroskopija ne može pridonijeti u ispitivanju heterogenih materijala zbog nedostatka mogućnosti snimanja slučajeva prostornih informacija. Kako bi se uspješno mogli otkriti nedostaci u ispitivanju heterogenih materijala, razna testna snimanja pokazala su kako hiperspektralne snimke sadrže velike količine (moguće preko 1 GB) spektralnih i prostornih podataka, što upravo metode utemeljene na HSI čini pogodnima za analizu, procjenu kvalitete i sigurnosti hrane općenito.

To je vidljivo iz sljedećih slučajeva testiranja hrane koji su utemeljeni na HSI metodama. Leiva-Valenzuela i sur. [4] koristili su vidljivo i infracrveno (*engl. Visual Infra-Red - VIR*) hiperspektralno snimanje za ispitivanje čvrstoće i tvrdog sadržaja borovnica. Točnost predviđanja od 87% i 79% dobivena je za čvrstoću i solidan sadržaj. Zhu i sur. [5] utvrdili su razinu brašnavosti jabuke koristeći VIR hiperspektralno snimanje, postigavši tako točnost klasifikacije od 82,5%. Huang i sur. [6] su iskoristili GLCM (*engl. Grey Level Co-occurrence Matrix*) i Gabor Filter za određivanje sadržaja masti između mišića u svinjetini postižući točnost klasifikacije od 89%. U istraživačkom radu [7] Serranti i sur. predstavili su analizu glavne komponente (*engl. Principal Component Analysis - PCA*) i PLS-DA model klasifikacije za klasifikaciju zrna zobi i žitarica na NIR hiperspektralnih slikama. Ova metoda postigla je iznimno visoku stopu klasifikacije od gotovo 100% što je HSI odmah postavilo kao industrijski alat za korištenje pri analizi hrane.

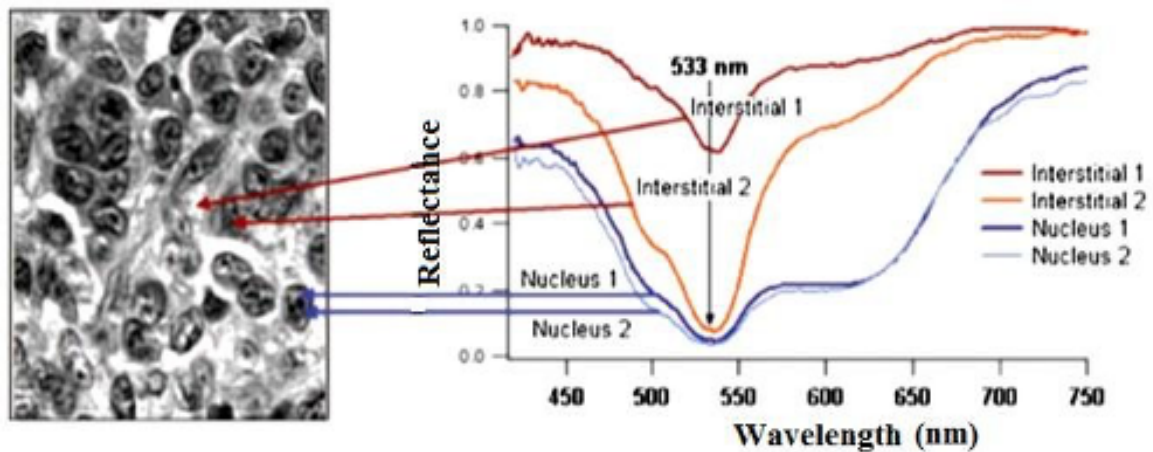
### **2.5.2. Medicinska kirurgija i dijagnoza**

Magnetna rezonancija (*engl. Magnetic Resonance Imaging - MRI*) i računalna tomografija (*engl. Computed Tomography - CT*), tradicionalno su korištene metode za kliničku analizu. Tijekom proteklih desetljeća moderne tehnike spektralnog snimanja dokazale su svoj značaj u medicinskom snimanju pružajući tako dodatni potencijal medicinskim stručnjacima svojom velikom brzinom i preciznošću. Optičke karakteristike tkiva pružaju vrlo korisne dijagnostičke informacije. Hiperspektralna analiza slike široko je korištena metoda za medicinsku dijagnozu zbog svoje sposobnosti pružanja slika podataka biomarkera i spektralnih informacija tkiva u stvarnom vremenu. Osim za dijagnoze, sustavi hiperspektralnih snimki također su korišteni u kirurgiji vođenoj slikom.

U svom istraživanju, Kumar i sur. [8] predložili su analizu glavne komponente (PCA) i FTIR (*engl. Fourier Transform Infrared*) metodu spektroskopije za dijagnosticiranje raka dojke. FTIR je primijenjen na histopatološkim uzorcima raka dojke s različitim histološkim stupnjevima, a zabilježene su i spektralne promjene u blizini karcinoma. Podaci su analizirani pomoću analize glavne komponente (PCA), a istaknute značajke pronađene su u pojasu od 882nm do približno 6250nm koji se mogao koristiti za identifikaciju raka. U istraživanju [9] od strane Wang i sur. spektri refleksije jezika su neinvazivno izmjereni za otkrivanje tumora. Dicker i sur. [10] razlučili su maligno od benignog dermalnog tkiva u spektralnoj domeni u rutinskim uzorcima obojenim hematoksilinom i eozinom. U njihovim nalazima razlike u spektralnim potpisima mogu se vidjeti ukoliko se kontrolira debljina presjeka i vrijeme bojanja. Lezija melanoma i intersticijska područja



prikazani su prikazom sive boje na slici 2.5. Olweny i sur. [11] koristili su hiperspektralno snimanje temeljeno na digitalnoj obradi svjetla (DLP) za računalno potpomognuti LPN za karakterizaciju bubrežne oksigenacije. Kliničko ispitivanje provedeno je na osamnaest pacijenata. Predloženi sustav uspio je uspješno karakterizirati dinamičke promjene u bubrežnoj oksigenaciji tijekom LPN-a.



Sl. 2.5. Prikaz sivih tonova lezije melanoma [13]

### 2.5.3. Precizna poljoprivreda

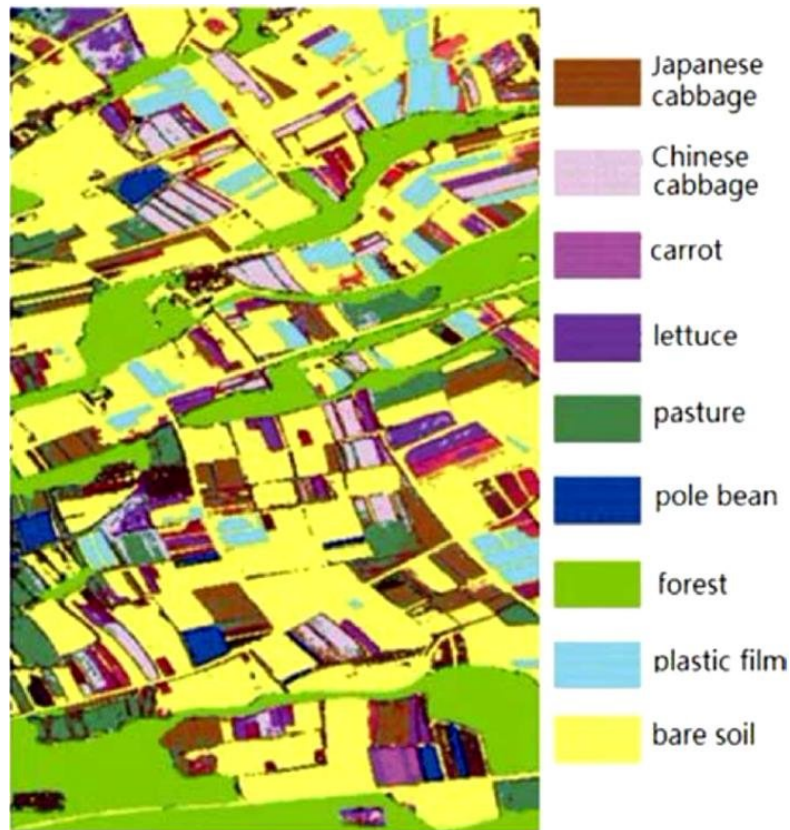
Zbog brzorastućeg stanovništva u svijetu, mnoga istraživanja su pokazala kako se svjetska ratarska proizvodnja treba udvostručiti do kraja 2050. godine [14]. Međutim, postoje i istraživanja koja su pokazala kako se prinosi usjeva više ne povećavaju brzinom koja je potrebna za zadovoljavanje rastuće potrebe stanovništva [15]. Nedavne studije istaknule su da je povećanje prinosa usjeva bez korištenja dodatnih obradivih površina zemlje najučinkovitiji način osiguranja prehrambene sigurnosti [16]. Zaključci doneseni prethodno spomenutim i drugim istraživanjima iznose da se globalno siromaštvo i pothranjenost može smanjiti izravnim povećanjem ratarske proizvodnje, a štoviše, većina siromašnog i pothranjenog stanovništva sami su poljoprivrednici.

Praćenje usjeva zbog bolesti, vodenog stresa, hranjivih sastojaka i napada insekata tradicionalno se provodilo vizualnim inspekcijama sa zemlje. Te su metode bile ograničene činjenicom da se

vizualni simptomi često pojavljuju tek u kasnijim fazama bolesti, što nadalje otežava proces obnavljanja zdravlja biljaka. Tehnološki napredak u zračnim i zemaljskim metodama hiperspektralnog snimanja omogućio je procjenu napreznja usjeva, analizirajući karakteristike tla i vegetacije na isplativ način, zamjenjujući tako tradicionalne metode izviđanja tla. Stres suše važan je čimbenik koji utječe na prinose usjeva. Šanse za uspješan rod mogu se uvelike povećati pravovremenim otkrivanjem stresova povezanih s vodom. Stresovi visokog vodostaja primjetni su u varijacijama fotosintetskih pigmenata. Te promjene dovode do žućkaste nijanse usjeva zbog povećane refleksije crvene valne duljine. U odnosu na ljudsko oko, hiperspektralni instrumenti imaju mogućnost otkrivanja ovih promjena još u vrijeme ranih faza.

Colombo i sur. [17] ukazao je da su promjene u ekvivalentnoj debljini vode (*engl. Equivalent Water Thickness - EWT*) odgovorne za promjene vidljive u refleksiji lišća u vidljivom i infracrvenom spektru. U svome radu navode da su indeksi hiperspektralne regresije izračunati iz hiperspektralne snimke moćni alati za procjenu sadržaja vode na lišću kao i na razini krajolika. Uzrok nedostatka hranjivih sastojaka i onečišćenja tla jedni su od raznih simptoma koje hiperspektralna analiza može procijeniti. U radu [18] Schuerger je koristio hiperspektralno snimanje za promatranje nedostatka cinka i razine toksičnosti s ciljem utvrđivanja razine klorofila u vezi sa simptomima stresa. Istaknuto je da su tradicionalne metode izravnog uzorkovanja puno skuplje od metode hiperspektralnog snimanja.

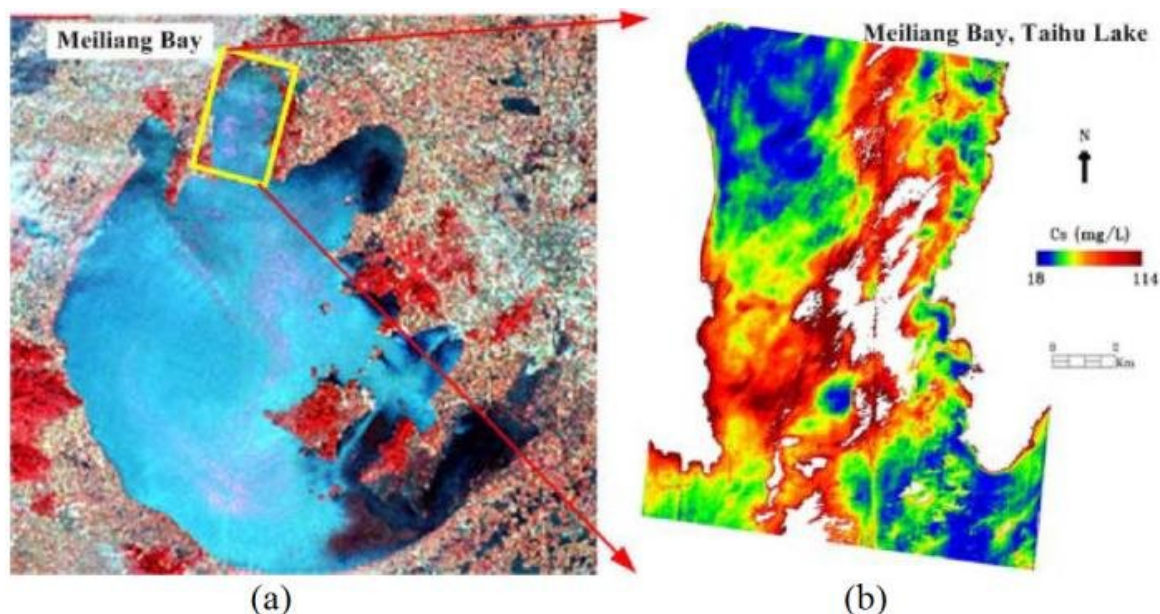
Kako bi se povećali prinosi usjeva, analiza karakteristike tla može uvelike pridonijeti tome, što je vidljivo iz sljedećih istraživačkih radova. U istraživanju karakteristika tla na terenu, Patkin i sur. [19] uspješno su mapirali vitalna svojstva tla: vlagu, organsku tvar i zdravstveno stanje tla. U istraživanju predviđanja organskog ugljika u tlu, Rossel i sur. [20] točno su procijenili udio njegove prisutnosti u tlu. Daljnje praćenje rasta usjeva dovelo je do mogućnosti predviđanja proizvodnje. Zahvaljujući testiranjima, predviđanja prinosa su poboljšana novim spektralnim indeksom, a tehnologija fine klasifikacije korištene u poljoprivredi je također unaprijeđena. Na slici 2.6. moguće je vidjeti finu klasifikaciju povrtlarskih regija temeljenu na hiperspektralnom snimanju.



**Sl. 2.6.** *Fina klasifikacija povrtlarskih regija temeljena na hiperspektralnom snimanju [21]*

#### **2.5.4. Upravljanje poplavama i vodnim resursima**

Jedan od najvažnijih dostupnih resursa na Zemlji je voda koja je od vitalnog značaja za opstanak čovječanstva. Zbog toga, učinkovito upravljanje vodnih resursa te analiza i praćenje kakvoće vode, privukli su veliku pozornost istraživača. Hiperspektralna tehnologija daljinskog nadzora i otkrivanja pronašla je velike primjene u upravljanju vodnih resursa. Precizne procjene parametara vodnih resursa moguće su analizom prostornih, spektralnih i vremenskih varijacija u vodenim tijelima. U svom radu, Xingtang i sur. [22] sustavno su predstavili svoja istraživanja ključnih tehnologija koje su povezane s robusnim hiperspektralnim sustavom praćenja vodnih resursa u Kini. Njihov rad upotrijebio je Li [23] u istraživanju procjene koncentracije suspendirane tvari u zaljevu Meiliang u jezeru Taihu koristeći podatke CHRIS koji su vidljivi na slici 2.7.



**Sl. 2.7.** *Raspodjela koncentracije suspendirane tvari u zaljevu Meiliang na jezeru Taihu; a) Satelitska snimka LANDSAT TM, b) Rezultati procjene pomoću CHRIS podataka [24]*

Učinkovitost sustava za otkrivanje i praćenje poplava je ograničena njihovom nesposobnošću da pravovremeno dobiju važne informacije o vodenim uvjetima iz zračnih i zemaljskih zvezdarnica. Nedavna poboljšanja u tehnologiji daljinskog istraživanja poboljšala su sustave ranog upozorenja na poplave i znatno smanjila vrijeme detekcije i reakcije na poplavne događaje na nekoliko sati [25]. Američko geološko istraživanje (US geological survey) i NASA uključili su svemirska promatranja resursa kiše, rijeka i topografije zemljišta u sustave ranog upozorenja s mogućim globalnim primjenama [26].

Istraživanjima [27] [28] je dokazano kako hiperspektralno daljinsko istraživanje pruža učinkovite i pouzdane informacije o parametrima kakvoće vode koji sadrže biokemijske, hidrofizičke i biološke atribute. Hiperspektralno snimanje omogućilo je mjerenje klorofila, zamućenja i kemijske potrebe za kisikom i fosforom u vodenim resursima. Sadržaj klorofila u vodi opsežno se proučava koristeći hiperspektralno daljinsko ispitivanje, što daje procjenu razine algi, a time i kakvoće vode. Značajnu ulogu u svrhu poboljšanja kvalitete ekosustava odigralo je kartiranje močvara [29]. Hiperspektralne slike značajno su pomogle u detaljnom razumijevanju vegetacijskih karakteristika ekosustava.

### 2.5.5. Forenzičko ispitivanje dokumenata

Stručnjaci za forenzičku dokumentaciju i paleografiju, tradicionalno su koristili metode temeljene na kemijskim otopinama u svrhu proučavanja unutarnjih i vanjskih komponenata važnih povijesnih dokumenata [83]. To je zbog činjenice da su tinte kojima su pisani dokumenti tijekom povijesti bile sastavljene od različitih tvari s različitim kemijskim i fizičkim svojstvima. Svaka korištena tvar ima svoj jedinstveni način reagiranja s različitim podlogama, ovisno o reakcijskom okruženju. Metode temeljene na kemijskim otopinama pomogle su u analizi dokumenata, no bile su vremenski zahtjevne te su se zbog podložnosti temperaturnim promjenama i destruktivne prirode tražile učinkovitije metode u svrhu poboljšanja čitljivosti dokumenata. Hiperspektralno snimanje pokazalo se kao nedestruktivan alat za poboljšanje čitljivosti [31], proučavanje starenja tinte i forenzičke analize dokumenata [32].

Princip hiperspektralnog snimanja dokumenata djeluje tako da svaka tinta prisutna u dokumentu dobiva svoj jedinstveni spektralni potpis. Mnogi matematički alati korišteni u hiperspektralnog daljinskom istraživanju mogu se koristiti na slikama hiperspektralnih dokumenata u svrhu klasifikacije, poboljšavajući tako čitljivost pogoršanog teksta, starenja tinte ili otkrivanja prijevara. U hiperspektralnog snimanju dokumenata, analiza otkrivanja nepodudaranja tinte pruža vrlo važne informacije forenzičkim ispitivačima dokumenata kako bi mogli utvrditi autentičnost pravnih dokumenata. Krivotvorenje, vraćanje datuma unatrag ili prijevara može se otkriti analizom tinte u dokumentima. U radu na nerazornom automatiziranom sustavu za otkrivanje krivotvorina, uspješno su razlikovane različite vizualno slične tinte preuzete iz javno dostupne baze podataka UWA WIHSI (*engl. Writing Ink Hyperspectral Images*) s različitim omjerima miješanja (Kombinacija A~H) [33]. U početku je korištena FCM (*engl. Fuzzy C-Means Clustering*) metoda grupiranja za razlikovanje dvije tinte prisutne u multispektralnog dokumentu u različitim omjerima miješanja [34]. U radu [12], najmodernija CNN (*engl. Convolutional Neural Network*) tehnika dubokog učenja je korištena za klasifikaciju spektralnih odziva piksela tinte za otkrivanje krivotvorenja u hiperspektralnim slikama dokumenata. Slika 2.8. prikazuje konačne rezultate segmentacije predložene CNN tehnike. Postignuto je 98% točnosti klasifikacije što pokazuje visoki potencijal hiperspektralnog snimanja i dubokog učenja pri otkrivanju krivotvorenja dokumenata.

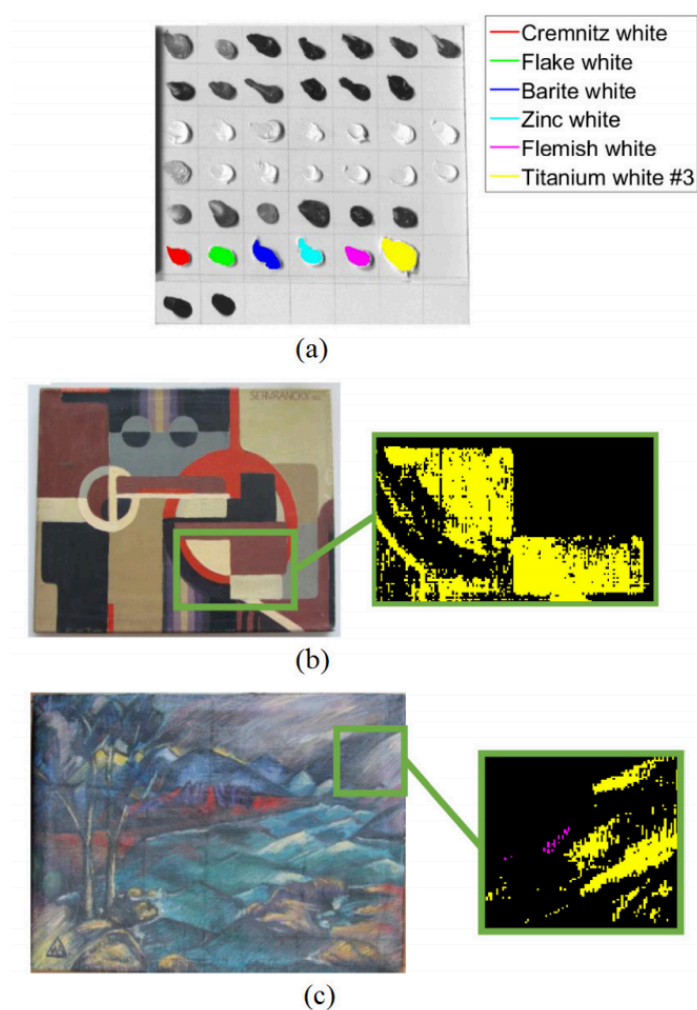
Combo	Type	Image
A (Inkl-2)	Ground Truth	
	Final Result	
B (Inkl-2)	Ground Truth	
	Final Result	
C (Inkl-2)	Ground Truth	
	Final Result	
D (Inkl-2)	Ground Truth	
	Final Result	
E (Inkl-2)	Ground Truth	
	Final Result	
F (Inkl-3)	Ground Truth	
	Final Result	
G (Inkl-4)	Ground Truth	
	Final Result	
H (Inkl-5)	Ground Truth	
	Final Result	

Sl. 2.8. Konačni rezultat segmentacije uzoraka tinte [35]

### 2.5.6. Provjera vjerodostojnosti umjetničkih djela

2013. godine zabilježen je sedampostotni porast ukupne prodaje umjetnina i antikviteta [36] što govori o brzom povećanju globalnog tržišta umjetnosti posljednjih desetljeća. Većina poslova visoke vrijednosti sklopljena je koristeći neznanstvenu stručnost u području umjetnosti, a forenzička ispitivanja u svrhu osiguranja autentičnosti predmeta trgovanja nisu. Za provjeru vjerodostojnosti umjetničkih djela, ranije su korištene metode Fourierove infracrvene transformacije (FTIR), rendgenske fluorescencije i Ramanove spektroskopije [37] [38]. U novijoj literaturi [39] [40] predloženo je nekoliko metoda koje koriste analizu pigmenta koji su podržani

u hiperspektralnom snimanju i tehnike klasifikacije za konzerviranje i restauraciju umjetničkih djela poput slika. Takve metode omogućuju prepoznavanje obnovljenih područja na slikama i razlikuju ih od važnih područja na izvornoj slici. Hiperspektralne slike snimljene u infracrvenom području također su otkrile korisne značajke slikara poput pripremnih crteža [41]. Slika 2.9. prikazuje dvije krivotvorene slike i rezultate infracrvenog hiperspektralnog snimanja i SVM klasifikacije predložene u radu [42].



Sl. 2.9. Krivotvorene slike s rezultatima klasifikacije. [43]

Široke spektralne informacije koje pruža HSI u kombinaciji s obradom signala također omogućuju identifikaciju temeljnog materijala u umjetničkim djelima. Materijali koji su jasno vidljivi unutar određenog pojasa, a prikriveni u ostalim pojasevima, prilikom snimanja se reflektiraju unutar istog pojasa te ih HSI sustav lako detektira [44]. Odgovarajući pojasevi u hiperspektralnim podacima povijesnih tekstova i rukopisa omogućuju identifikaciju tinte i pigmenata za datiranje rukopisa i oporavak izbrisanih i prepisanih pisama.

### **2.5.7. Sektor obrane i domovinske sigurnosti**

Nakon dokazanih rezultata i primjene u nekim od prethodno spomenutih područja, uporaba HSI brzo se proširila i na razne civilne primjene, a u novije vrijeme i na sektore obrane i domovinske sigurnosti [45]. HSI se obično koristi kao protumjera za otkrivanje i prepoznavanje prikrivenih ciljeva u vojnim primjenama. Pomoću HSI može se lako otkriti strateško raspoređivanje u nenaseljenim područjima poput šuma, pustinja i planina, gdje se mete poput vojnih vozila i mina razlikuju od pozadine čak i ako su kamuflirani.

Metode otkrivanja anomalija koje koriste spektralne informacije za učinkovito razlikovanje meta i pozadine bez ikakvog prethodnog znanja stekle su značajnu popularnost posljednjih nekoliko godina. Yuen i Bishop [46] predložili su MUF2 algoritme za otkrivanje anomalija temeljenih na HSI koji koriste metodologiju fuzije višestrukog pristupa. Eksperimenti su izvedeni na slikama usjeva, vegetacije i golog tla iz Barraxovog skupa podataka. MUF2 algoritam također je testiran za otkrivanje kamufliranih nagaznih mina. Zbog vrlo male površine na slikama i šuma u skupu podataka, postignuto je 60% točnosti otkrivanja pri lažnoj brzini alarma od  $3 \times 10^{-3}$ . Letalick i sur. [47] testirali su mogućnost i izvedivost korištenja više optičkih senzora i zaključili da HSI ima veliki potencijal u otkrivanju i prepoznavanju polu-skrivenih, skrivenih i kamufliranih nagaznih mina ako je prethodno poznat spektralni potpis cilja, međutim, ograničena stopa otkrivanja postiže se kada su nagazne mine potpuno skrivene ili zakamuflirane vegetacijom. Cathcart i sur. [48] proveli su istraživanje o otkrivanju uzoraka nagaznih mina kako bi se poboljšala učinkovitost otkrivanja nagaznih mina na hiperspektralnim slikama LWIR-a. U istraživanju [49], Gagnon i sur. su koristili hiperspektralnu analizu slike za otkrivanje zakopanih meta pomoću zračne hiperspektralne kamere LWIR. Utvrđeno je da je temperatura poremećenog tla nad zatrpanom metom viša od temperature neometanog tla oko ciljanog područja. Tehnike klasifikacije kao što su SVM i linearno miješanje koriste se za razlikovanje meta od prirodno vrućih područja.



Jedna od značajnih ideja predloženih za borbu protiv terorizma je otkrivanje improviziranih eksplozivnih naprava (*engl. Improvised Explosive Devices - IED*). Tehnički izazov je izravno otkrivanje pakiranih eksploziva na hermetičan i lagan način, a suprotno tome su kognitivne metode koje koriste učinkovito računanje za analizu govora tijela, ponašanja, gesti, izraza lica i aktivnosti za procjenu namjere osobe.

Mentalni stres jedan je od ključnih pokazatelja prijetnje, a to je kratkoročna neurološka neravnoteža uzrokovana bilo kojom situacijom koja uključuje potencijalnu prijetnju ili opasnost. Tijekom neurološkog stresa, simpatički živčani sustav inducira adrenalinske hormone te pokreće povećanje protoka krvi u mišićima i širenje zjenica. Te neizbježne fiziološke promjene tijekom stresa otkrivaju se kao pokazatelj razine stresa pomoću HSI [50].



**Sl. 2.10.** Razina oksihemoglobina kod osobe sa različitim razinama stresa [51]

### 3. COPERNICUS

Copernicus program za nadzor i opažanje Zemlje jedan je od najvećih i najnovijih programa Europske komisije čija je misija pružiti podatke u stvarnom vremenu koji se mogu koristiti za lokalne i regionalne potrebe u svrhu boljeg razumijevanja planeta Zemlje i održivosti okoliša na globalnoj razini. Omogućuje besplatan i lako dostupan pristup informacijama i uslugama koje su temeljene na satelitskim podacima za promatranje Zemlje te *in situ* (ne svemirskim) podacima prikupljenim pomoću mreže senzora koji se nalaze na moru, kopnu i u zraku. Dostupan je za korištenje širokom spektru korisnika u koji spadaju vlasti, znanstvenici, organizacije koje se bave obradom podataka u korist poboljšanja životnog standarda građana EU te ostalim građanima koji pristup i obradu podataka koriste u istraživačke i edukativne svrhe.

Servisi Copernicus programa mijenjaju snagu satelitskih i *in situ* sustava u pravovremenu i djelotvornu informaciju koristeći obradu i analizu slike. Podaci prikupljeni satelitskim sustavima, zajedno s prizemnim, zračnim i morskim mjernim sensorima isporučuju velike količine globalno dostupnih podataka koji se međusobno identificiraju, obrađuju i analizom proširuju u korist pretraživanja i praćenja promjena određenih vremenskim intervalom.

Satelitska komponenta pokrivena je skupinom namjenskih Sentinel satelita koji doprinose postojećim komercijalnim i javnim misijama. Sentinel sateliti posebno su izrađeni za uspješno ispunjenje zahtjeva Copernicusovih informacijskih usluga i njihovih korisnika.



Sl. 3.1. Copernicus Observation Programme logotip [52]

### 3.1. Sentinel misije

Od vremena lansiranja prvog satelita Sentinel-1A 2014. godine, Europska unija je pokrenula postupak postavljanja kompletne konstelacije od gotovo 20 satelita koje planira lansirati u orbitu do 2030. godine. Obitelji misija Sentinel pripada skupina satelita Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P i Sentinel-6, te mjerni instrumenti Sentinel-4 i Sentinel-5 koji se nalaze na meteorološkim satelitima EUMETSAT (*engl. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) organizacije. Za rad satelita Sentinel-1, Sentinel-2 i Sentinel-5P odgovorna je ESA (*engl. European Space Agency*), dok je za upravljanje radom satelita Sentinel-3 i Sentinel-6 te mjernih instrumenata Sentinel-4 i Sentinel-5 odgovorna organizacija EUMETSAT.

Svi podaci snimljeni s prethodno spomenutih satelita imaju besplatan pristup u svrhu poticanja maksimalnog iskorištavanja, a podaci su dostupni 24/7 svih 365 dana u godini. Svaka misija Sentinel sastoji se od dva satelita blizanca koji lete istom orbitom s razlogom bolje pokrivenosti površine te skraćenog vremena pregleda. Tematski gledano, radilo se o kopnu, moru ili atmosferi, svaki Sentinel satelit ima specifičnu namjenu i misiju.

**Sentinel-1:** Prva dvosatelitska konstelacija Copernicus programa koja je započela s radom s 3. travnja 2014. godine. Konstelaciju čine dva satelita smještena u istoj orbitalnoj ravnini, sateliti Sentinel-1A i Sentinel-1B. Cilj misije je osigurati kontinuitet C-pojasnog SAR skupa podataka nakon umirovljenja ERS-2 satelita i završetka misije Envisat. Kako bi se to uspješno postiglo, sateliti imaju ugrađen C-SAR (*engl. Synthetic Aperture Radar*) radar sa sintetičkim otvorom antene koji omogućava snimanje srednje i visoke rezolucije u svim vremenskim uvjetima. Takav senzor pogodan je za snimanje dnevnih i noćnih snimaka te otkrivanje malog kretanja po tlu što ga čini pogodnim odabirom za praćenje kopnene, morske i ledene zone.

**Sentinel-2:** Konstelacija koju čine 2 međusobno fazno pomaknuta satelita za 180 stupnjeva. Sastoji se od satelita Sentinel-2A i Sentinel-2B koji stvaraju optičke slike visoke razlučivosti te pružaju kontinuitet trenutno aktivnim svemirskim misijama SPOT i LANDSAT. Misija osigurava globalnu pokrivenost Zemljine kopnene površine svakih 10 dana s jednim satelitom i 5 dana s dva satelita. Dobiveni podaci uvelike pomažu trenutnim studijama upravljanja vlasništva zemlje, pitanja poljoprivrede i šumarstva, kontrole katastrofa, organizacije humanitarnih akcija kao i drugih važnih istraživanja po pitanju kopnenog dijela Zemlje. Sateliti su opremljeni

najsuvremenijim multispektralnim (*engl. Multispectral Imager - MSI*) optičkim instrumentom koji ima mogućnost uzorkovanja 13 spektralnih pojasa, četiri pojasa na 10m, šest pojasa na 20m i tri pojasa prostorne rezolucije 60m. Širina orbitalne optičke slike visoke rezolucije iznosi 290km.

**Sentinel-3:** Sentinel-3 je satelitska misija promatranja Zemlje za podršku GMES (*engl. Global Monitoring for Environment and Security*) programa za kopno, ocean, atmosferu, izvanredne situacije i kriosferu, a čine ju sateliti Sentinel-3A, Sentinel-3B i Sentinel-3C. U kombinaciji s konstelacijom Sentinel-6, glavni ciljevi Sentinel-3 misije su mjerenje topografije površine mora uz mjerenje temperature i boje kopnene i morske površine osiguravajući tako podatke visoke točnosti i pouzdanosti. Misija pruža kontinuitet podataka ERS (*engl. European Remote Sensing*), ENVISAT (*engl. Environmental Satellite*) i SPOT satelita. Sateliti Sentinel-3 dizajnirani su za sedmogodišnji vijek trajanja noseći 120 kg pogonskog goriva hidrazin koje omogućuje do 12 godina neprekidnih operacija, uključujući i izbacivanje iz orbite na kraju misije. Na njima se nalaze instrumenti SLSTR (*engl. Sea and Land Surface Temperature Radiometer*), OCLI (*engl. Ocean and Land Colour Instrument*), SRAL (*engl. SAR Radar Altimeter*), MWR (*engl. Microwave Radiometer*) te POD (*engl. Precise Orbit Determination*) kojeg čine tri pomoćna instrumenta GNSS (*engl. Global Navigation Satellite Systems*), DORIS (*engl. Doppler Orbit determination and Radio-positioning Integrated on Satellite*) i LRR (*engl. Laser Retro-Reflector*).

**Sentinel-4:** Za razliku od misija Sentinel-1, Sentinel-2 i Sentinel-3, Sentinel-4 (poznatiji i kao S4) neće imati vlastiti satelit. Za otkrivanje i mjerenje atmosferskih karakteristika misije Sentinel-4 posebno su dizajnirana dva mjerna instrumenta korisnog opterećenja UVN (*engl. Ultra-Violet Visible Near Infra-Red*) i IRS (*engl. Infra-Red Sounder*) koja će biti integrirana u sklopu satelita MTG-S (*engl. Meteosat Third Generation*) EUMETSAT organizacije s planiranim početkom rada 2022. godine. Cilj misije je nadzor i promatranje aerosola i količine čestica plinova O<sub>3</sub> (ozon), NO<sub>2</sub> (dušikov dioksid), SO<sub>2</sub> (sumpor dioksid), HCHO (formaldehid), CHOCHO (glioksal) u zraku koji se nalazi iznad Europe i sjeverne Afrike.

**Sentinel-5:** Misija Sentinel-5 dio je EEOP (*engl. European Earth Observation Programme*) Copernicus programa kojom koordinira Europska komisija. Cilj misije Sentinel-5 jest izvršiti mjerenja atmosfere s visoko prostorno-vremenskom razlučivosti koja se odnosi na kvalitetu zraka, klimatske sile, ozon i UV zračenja pružajući tako svakodnevnu globalnu pokrivenost. Uz nadzor i monitoring čestica plinova iz misije Sentinel-4, Sentinel-5 će također isporučiti

parametre kvalitete vezane uz cestice CO i CH<sub>4</sub>. Misija se sastoji od visoko razlučivog spektrometra koji djeluje u UV i kratkovalnom IR rasponu sa sedam različitih spektralnih pojasa:

1. UV-1 (270-300 nm)
2. UV-2 (300-370 nm)
3. VIS (370-500 nm)
4. NIR-1 (685-710 nm)
5. NIR-2 (745-773 nm)
6. SWIR-1 (1590-1675 nm)
7. SWIR-3 (2305-2385 nm)

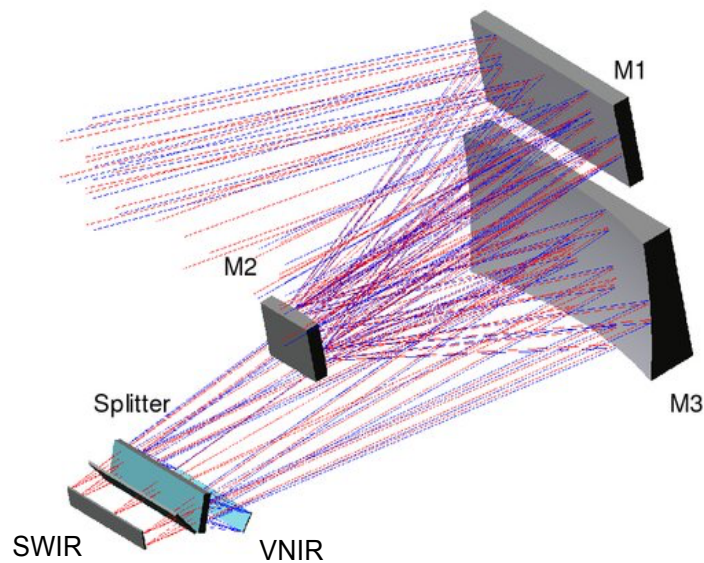
Instrument će se nalaziti na satelitu MetOp-SG A, a za razvoj instrumenta Sentinel-5 zadužen je „Airbus Defense & Space“ pod ugovorom ESA. Mnoge druge europske industrije pridonijele su samome razvoju podsustava. Početak rada satelita planiran je 2021. godine.

**Sentinel-5P:** Prva je aktivna misija Copernicus programa posvećena nadgledanju sastava Zemljine atmosfere. Glavni cilj misije je provođenje atmosferskih mjerenja s velikom prostorno-vremenskom razlučivosti, koja će se koristiti za kvalitetu zraka, ozon i UV zračenje te za nadgledanje i predviđanje klime. Uspješnim početkom rada u Rusiji 13. listopada 2017. godine, s prethodno spomenutim mjernim informacijama nadomješta podatke misije Sentinel-5. Misija je izvedena od jednog satelita koji na sebi nosi hiperspektralni spektrometar TROPOMI (*engl. TROPospheric Monitoring Instrument*) koji radi u UV, VIS, NIR i SWIR dijelu elektromagnetskog spektra. Mjerni instrument TROPOMI čine četiri spektrometra s minimalnom prostornom razlučivosti od 7km te spektralnom razlučivosti raspona 0.25 – 0.54 nm. Copernicus program Sentinel-5P rezultat je uske suradnje između ESA-e, Europske komisije, Nizozemskog svemirskog ureda, industrije, korisnika podataka i znanstvenika.

**Sentinel-6:** Jason-CS (*engl. Jason Continuity of Service*) još zvan Sentinel-6 operativni je program za oceanografiju koji se sastoji od satelita Sentinel-6A (Jason-CS A) i Sentinel-6B (Jason-CS B) čiji je glavni cilj izmjeriti topografiju morske površine s velikom točnošću i pouzdanošću kako bi se podržali sustavi predviđanja oceana, monitoring okoliša i klimatskog praćenja. Definicija misije vođena je potrebom kontinuiteta u pružanju misija Topex i Jason uz poboljšanja performansi i dopune oceanskih podataka prikupljenih misijom Sentinel-3. Misija Sentinel-6 bit će partnerstvo između više agencija koje uključuje ESA, EU, EUMETSAT, NASA-JPL, NOAA i CNES za pružanje operativnih usluga promatranja oceana i kopna.

### 3.2. Sentinel-2 MSI

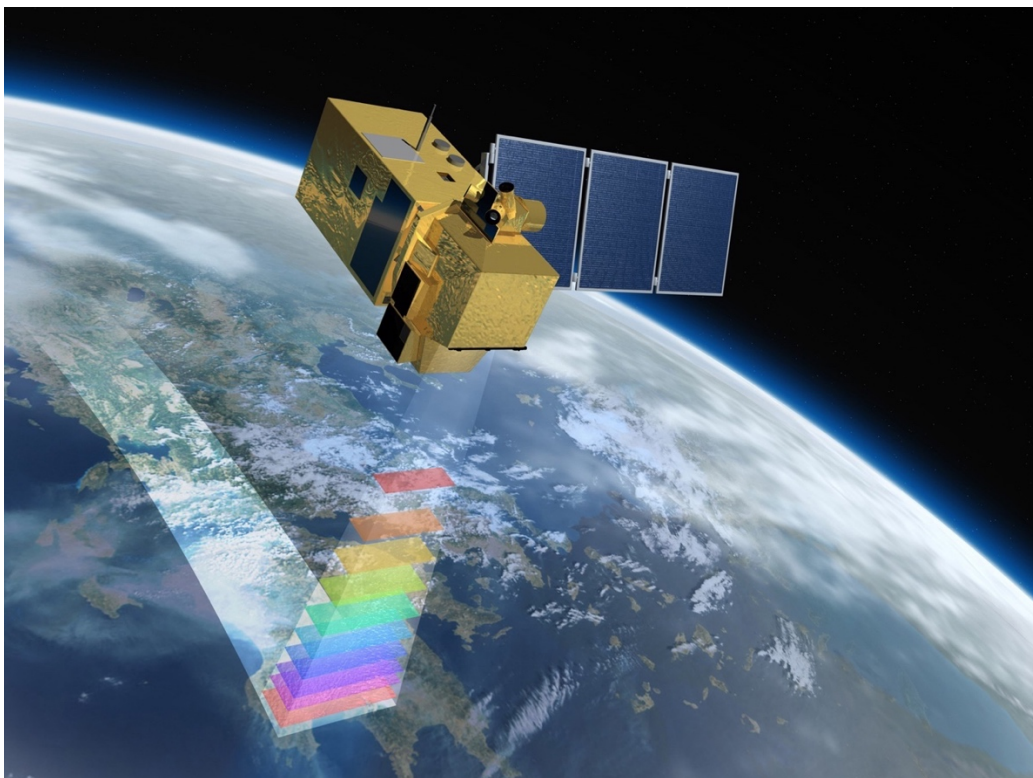
Ovo potpoglavlje obuhvatit će se najvažnija svojstva i karakteristike Sentinel-2 multispektralnog instrumenta (*engl. Multispectral Instrument - MSI*) koji je glavni instrument Copernicus svemirske misije Sentinel-2 čije su snimke korištene u istraživanju i pisanju ovoga rada. Dizajniran je i izrađen od strane francuske tvrtke Airbus Defence and Space, a baziran je na *push-broom* konceptu. Sentinel-2 MSI može generirati optičke slike u 13 spektralnih pojasa unutar vidljivog, bliskog infracrvenog i kratkovalnog infracrvenog područja prostorne razlučivosti u rasponu od 10m do 60m. Četiri pojasa na 10m, šest pojasa na 20m i tri pojasa na 60m prostorne rezolucije s maksimalnom širinom pregleda 290km [68]. Za takav prikaz potrebno je veliko vidno polje od  $20.6^\circ$  i 13 spektralnih pojasa unutar velike spektralne domene od 0.4 do  $2.4 \mu\text{m}$  [69]. Vrijeme posjeta je 5 dana na ekvatoru u uvjetima bez oblaka.



Sl. 2.2. 3D prikaz trozrcalne komponente teleskopa; SWIR i VNIR kanal [70]

Instrument se sastoji od 2 glavna dijela. Prvi dio je sklop teleskopa koji u jednom instrumentu kombinira vidljivi i blisko infracrveni (*engl. Visible and Near InfraRed - VNIR*) i kratkovalni infracrveni (*engl. ShortWave InfraRed - SWIR*) kanal. Drugi dio jest elektronska jedinica za video i kompresiju koja je ugrađena unutar sabirnice.

Teleskop se temelji na optičkom trozrcalnom konceptu TMA (*engl. Three Mirror Anastigmat*). Ogledala teleskopa i strukturna osnovna ploča izrađeni su od silicijevog karbida kako bi se smanjila termoelastična izobličenja. Sentinel-2 MSI instrument ima mehanizam za kalibraciju i zatvaranje čime izbjegava izravan doticaj sa sunčevim zrakama unutar teleskopa tijekom pokretanja. Takav mehanizam instrumentu osigurava siguran način rada. Video signali koji izlaze iz središta VNIR i SWIR dosežu i do 1.4 Tbit informacije te su digitalizirani i komprimirani unutar instrumenta prije slanja na sabirnicu.



**Sl. 2.3.** *Prikaz Sentinel-2 MSI [70]*

### 3.3. Mogućnost pristupa hiperspektralnim satelitskim snimkama

Copernicus program temeljen je na konstelaciji satelita koji omogućuju na milijune dnevnih promatranja kopna, zraka i mora stvarajući tako jedne od najdetaljnijih slika Zemlje. Razvoj tehnologije učinio je program Copernicus najvećim svjetskim pružateljem svemirskih podataka koji na dnevnoj razini proizvode i do 12 terabajta podataka. Većina tih podataka i informacija dostupna je svim građanima i bilo kojim organizacijama širom svijeta na besplatnom i potpuno otvorenom pristupu. Informacijama i podacima Copernicus programa moguće je pristupiti putem DIAS (*engl. Data and Information Access Services*) i CDAH (*engl. Conventional Data Access Hubs*) čvorišta podataka [71].

DIAS platforme [72] pružaju pristup podacima iz šest operativnih usluga Copernicus programa, zajedno s alatima za obradu u oblaku. Ove usluge su besplatne, a njima pripadaju Creodias, Sobloo, Mundi, Onda i Wekeo. Svaka od pet navedenih konkurentnih platformi također nudi pristup dodatnim komercijalnim satelitskim ili ne-svemirskim skupovima podataka, kao i dodatne mogućnosti u smislu korisničke podrške.

CDAH čvorište [73] pruža pristup podacima upravljanim od strane organizacija ESA i EUMETSAT od kojih svaka ima dvije pristupne točke. Pristupne točke prve organizacije su Copernicus Open Access Hub i CSCDA (*engl. Copernicus Space Component Data Access*), a pristupne točke druge organizacije su EUMETCast i CODA (*engl. Copernicus Online Data Access*).

Aktivnosti Copernicus *in situ* sustava dostupne su putem šest glavnih tematskih područja:

1. Atmosfera - CAMS (*Copernicus Atmosphere Monitoring Service*)
2. More - CMEMS (*Copernicus Marine Environment Monitoring Service*)
3. Kopno - CLMS (*Copernicus Land Monitoring Service*)
4. Klimatske promjene - C3S (*Copernicus Climate Change Service*)
5. Upravljanje hitnim intervencijama - CEMS (*Copernicus Emergency Management Service*)
6. Sigurnost - CSS (*Copernicus Security Service*)

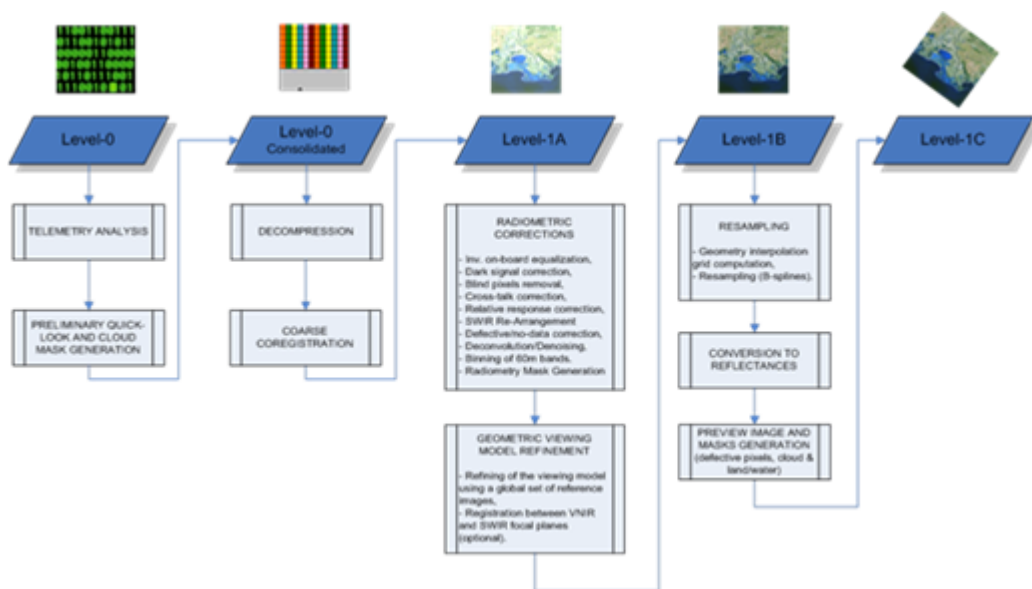
### 3.4. Preuzimanje hiperspektralnih satelitskih snimki

Svi prikupljeni podaci, pokrivenost misija te velika učestalost ponovljenih posjeta omogućuje generiranje geoinformacija na lokalnoj, regionalnoj, nacionalnoj i međunarodnoj



razini. Pristup podacima dizajniran je tako da ih je moguće modificirati i prilagoditi korisnicima koji su zainteresirani za tematska područja prostornog planiranja, praćenja agro-okoliša, voda, šuma, vegetacije, prirodnih resursa i globalnog nadgledanja usjeva.

Podaci prikupljeni MSI instrumentom sustavno se obrađuju do razine Level-1C pomoću PDGS (*engl. Payload Data Ground Segment*). S obzirom na to da se korisnicima objavljuju samo proizvodi razina Level-1C i Level-2A, daljnji fokus poglavlja bit će na tim razinama. Proizvodi razine Level-2A generirani su pomoću PDGS koristeći procesor Sen2Cor ili na korisničkoj strani putem servisa Sentinel-2 Toolbox.

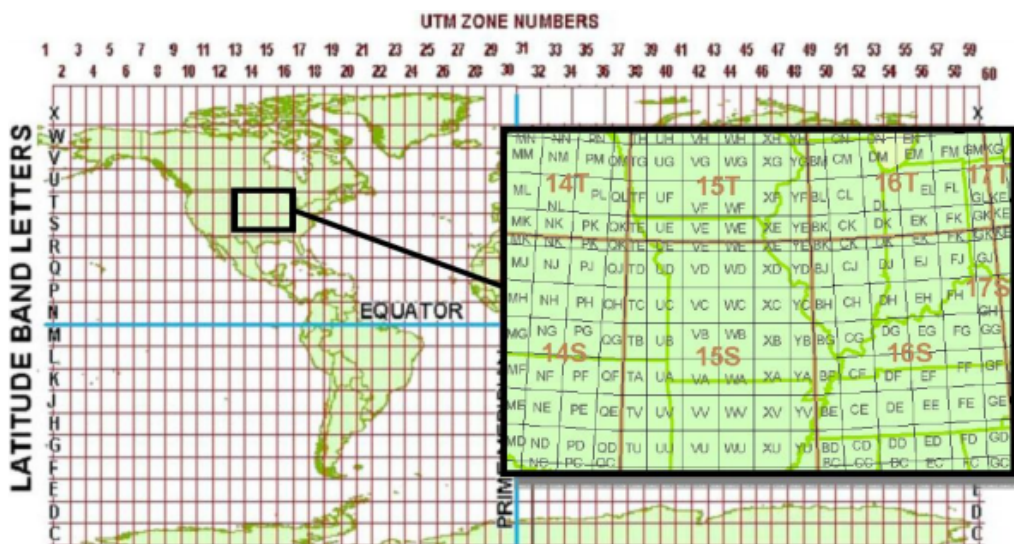


**Sl. 3.2.** Razine obrade podataka Sentinel-2 MSI snimaka [74]

Osnovna razina Sentinel-2 MSI proizvoda naziva se granula te je fiksne veličine. U tom pogledu, granularnost proizvoda odgovara minimalnoj nedjeljivoj podjeli jednog korisničkog proizvoda. Proizvodi razina Level-0, Level-1A i Level-1B nisu dostupni korisnicima, dok su proizvodi razina Level-1C i Level-2A još zvane Ploče (*engl. Tiles*) predstavljene kao pravokutne kvadratne slike veličine 100km x 100km u UTM/WGS84 projekciji dostupne korisnicima. Snimke svakog pojasa stavlja se u posebnu datoteku JPEG2000. Uz proizvode razine Level-2A također se izračunavaju specifični pojasevi za tu razinu: AOT - Aerosolna optička karta (debljine na 550nm), CLD -

vrijednosti rasterske maske kreću se od 0 za visoko pouzdano vedro nebo do 100 za visoko pouzdano oblačno, SCL - klasifikacija scena gdje je značenje vrijednosti naznačeno u nazivima kategorija opsega, SNW - vrijednosti rasterske maske kreću se od 0 za visoku pouzdanost bez snijega/leda do 100 za visoku pouzdanost koja uključuje snijeg/led, WVP - prosječna karta vodene pare u sceni.

Sustav UTM (*engl. Universal Transverse Mercator*) dijeli Zemljinu površinu na 60 zona. Svaka UTM zona ima vertikalnu širinu od 6° zemljopisne dužine i vodoravnu širinu od 8° geografske širine, što je vidljivo na slici 3.3. Veličina ploča je približno 600 MB. Ploče mogu biti potpuno ili djelomično pokrivene slikovnim podacima. Sve granule, potrebne u korisničkom području interesa (*engl. Area Of Interest - AOI*), uključene su u krajnji isporučeni proizvod [75].



Sl. 3.3. Popločavanje (100x100km<sup>2</sup>) proizvoda razine Level-1 unutar UTM15 zone [76]

Da bi mogao čitati slike, GDAL (Sentinel-2 driver) mora biti konfiguriran s barem jednim upravljačkim programom koji podržava JPEG2000.

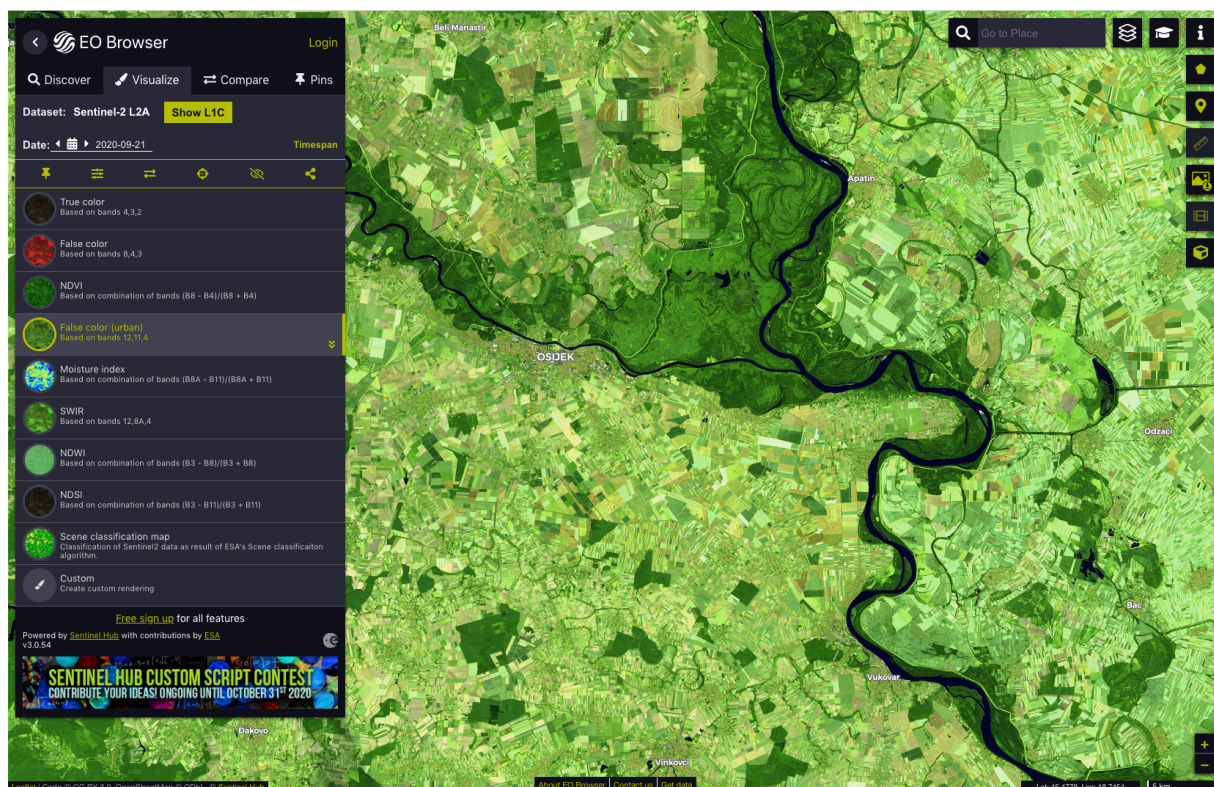
Multispektralni instrument Sentinel-2 uzorkuje 13 spektralnih pojasa u vidljivom i bliskom infracrvenom (VNIR) i kratkovalnom infracrvenom (SWIR) spektru, kao što je prikazano u donjoj tablici na slici 3.4.

**Tab. 3.1.** *Sentinel-2 MSI spektralni pojasi u vidljivom i bliskom infracrvenom (VNIR) i kratkovalnom infracrvenom (SWIR) spektru*

Naziv pojasa	Rezolucija (m)	Središnja valna duljina (nm)	Širina pojasa (nm)	Namjena
B01	60	443	20	Detekcija aerosola
B02	10	490	65	Plava
B03	10	560	35	Zelena
B04	10	665	30	Crvena
B05	20	705	15	Klasifikacija vegetacije
B06	20	740	15	Klasifikacija vegetacije
B07	20	783	20	Klasifikacija vegetacije
B08	10	842	115	Bliski infracrveni spektar
B08A	20	865	20	Klasifikacija vegetacije
B09	60	945	20	Vodena para
B10	60	1375	30	Cirusi
B11	20	1610	90	Snijeg / Led / Oblaci
B12	20	2190	180	Snijeg / Led / Oblaci

### 3.3.1. Sentinel Hub - EO Preglednik

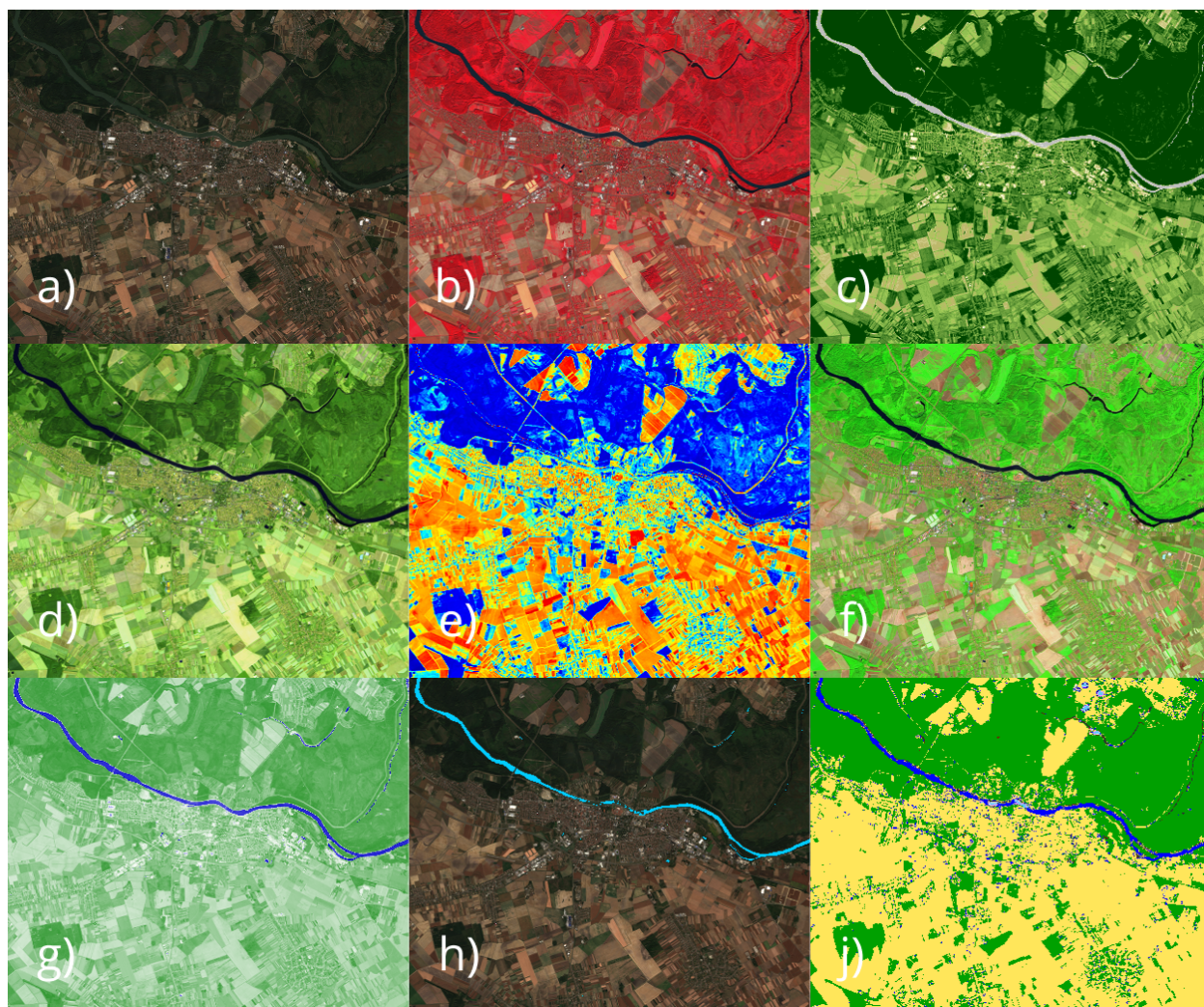
EO preglednik (*engl. Earth Observation Browser - EO Browser*) satelitskih snimaka omogućuje pregled i usporedbu slika pune rezolucije iz svih izvora podataka koje Sentinel misije pružaju. EO preglednik omogućuje trenutno prikazivanje satelitskih podataka s brojnih satelita i izvora podataka. Proces u pozadini brine se za odabir prikladnih scena, preuzimanje i obradu podataka, kao i stvaranje mozaika. Uz pregled i preuzimanje satelitskih slika i podataka pruža napredne mogućnosti poput prilagođene vizualizacije podataka, usporedbe slika, mjerenja udaljenosti, pregleda slika u *timelapse* prikazu, statističke analize i napredne konfiguracije koje su dostupne svim korisnicima nakon besplatne registracije i prijave na platformu.



**Sl. 3.4.** Pregled sučelja EO Browser servisa za pregled i pristup satelitskim snimkama

Kao što je iz slike 3.4. vidljivo, u lijevom panelu, korisnici imaju mogućnost odabira željenog prikaza, preuzimanja i uspoređivanja podataka u devet predefiniраниh spektralnih kombinacija: True color, False color, NDVI, False color (urban), Moisture index, SWIR, NDWI, NDSI i Scene classification map. Također, ponuđena je i opcija ručnog odabira pojaseva u rasponu od B01 do B12 za svaki kanal prikaza podataka (RGB) za slaganje željenog prikaza.

U nastavku su prikazane i opisane prethodno nabrojane predefiniране spektralne kombinacije koje su dostupne za selekciju u pregledniku satelitskih snimaka EO Browser.



**Sl. 3.5.** *a) True color, b) False color, c) NDVI, d) False color (urban), e) Moisture index, f) SWIR, g) NDWI, h) NDSI, i) Scene classification map*

#### **a) True color**

Kompozit prave boje koristi vidljive svjetlosne pojaseve u odgovarajućim crvenim, zelenim i plavim kanalima boja, što rezultira prirodnim obojenim rezultatom. Predstavlja prikaz Zemlje kao što je vide ljudi [80].

#### **b) False color**

Kompozit lažne boje koristi barem jednu nevidljivu valnu duljinu za prikaz Zemlje. Kompozit u lažnim bojama koji se koristi u blizini infracrvenog, crvenog i zelenog pojasa je vrlo popularan. Najčešće se koristi za procjenu gustoće i zdravlja biljaka jer biljke reflektiraju blizu infracrvene i

zelene svjetlosti, dok upijaju crvenu boju. Gušći rast biljaka je tamnije boje, gradovi i izložena tla su siva ili preplanula, a voda djeluje plavo ili crno [80] [81].

### **c) NDVI**

Dobro poznat i široko korišten Normalizirani indeks vegetacijske razlike jednostavan je, ali učinkovit indeks za kvantificiranje zelene vegetacije. To je mjera stanja zdravlja vegetacije koja se temelji na tome kako biljke reflektiraju svjetlost na određenim valnim duljinama. Raspon vrijednosti NDVI je -1 do 1. Negativne vrijednosti NDVI (vrijednosti koje se približavaju -1) odgovaraju vodi. Vrijednosti blizu nule (-0,1 do 0,1) uglavnom odgovaraju neplodnim područjima stijena, pijeska ili snijega. Niske, pozitivne vrijednosti predstavljaju grmlje i travnjake (približno 0,2 do 0,4), dok visoke vrijednosti (vrijednosti koje se približavaju 1) ukazuju na umjerene i tropske kišne šume. Dobro prezentira živu zelenu vegetaciju [80].

### **d) False color (urban)**

Kompoziti lažnih boja omogućuju nam da vizualiziramo valne duljine koje ljudsko oko ne vidi (u blizini infracrvenog područja). Koristi se za jasniju vizualizaciju urbaniziranih područja. Vegetacija je vidljiva u zelenim nijansama, dok su urbanizirana područja predstavljena bijelom, sivom ili ljubičastom. Tla, pijesak i minerali prikazani su u raznim bojama. Snijeg i led izgledaju tamnoplavo, a voda crno ili plavo. Poplavljena područja su intenzivne tamnoplave i gotovo crne boje. Kompozit je koristan za otkrivanje šumskih požara i kaldera vulkana, jer su prikazani u nijansama crvene i žute boje [80].

### **e) NDMI**

Normalizirani indeks vlage razlike (NDMI) koristi se za određivanje sadržaja vegetacijske vode i praćenje suša, a koristi NIR i SWIR pojaseve za prikaz podataka. Raspon vrijednosti NDMI je -1 do 1. Negativne vrijednosti NDMI (vrijednosti koje se približavaju -1) odgovaraju neplodnom tlu. Vrijednosti oko nule (-0,2 do 0,4) uglavnom odgovaraju stresu vode. Visoke, pozitivne vrijednosti predstavljaju visoki pokrov bez vodenog stresa (približno 0,4 do 1). Najčešće se koristi za praćenje promjena u sadržaju vode u lišću [80].

### **f) SWIR**

Kratkovalni infracrveni (SWIR) pojasevi mogu pomoći znanstvenicima da procijene koliko je vode prisutno u biljkama i tlu, jer voda odražava SWIR valne duljine. Kratkovalni infracrveni pojasevi također su korisni za razlikovanje vrsta oblaka (vodeni oblaci nasuprot ledenim oblacima), snijega i leda koji se pri vidljivom svjetlu čine bijeli. Novo izgorjelo zemljište snažno

se odražava u SWIR opsezima, što ih čini vrijednima za mapiranje oštećenja od požara. Svaka vrsta stijena različito reflektira kratkovalno infracrveno svjetlo, što omogućuje mapiranje geologije uspoređujući odbijenu SWIR svjetlost. U ovom kompozitu B8A odražava se vegetacijom i prikazuje se u zelenom kanalu, dok se odbijena crvena traka, koja naglašava golo tlo i izgrađena područja, prikazuje u plavom kanalu [80].

#### **g) NDWI**

Normirana razlika indeksa vode najprikladnija je za mapiranje vodnih tijela. Kako vodena tijela snažno upijaju svjetlost u vidljivom infracrvenom elektromagnetskom spektru, NDWI koristi zelene i bliske infracrvene pojaseve kako bi istaknuo vodena tijela. Vrijednosti vodnih tijela veće su od 0,5. Vegetacija obično odgovara mnogo manjim vrijednostima, a izgrađena područja vrijednostima između 0 i 0,2. NDWI se koristi za praćenje promjena povezanih sa sadržajem vode u vodenim tijelima. Osjetljiv je na izgrađeno zemljište i može rezultirati pretjeranom procjenom vodnih tijela [80].

#### **h) NDSI**

Indeks snijega normalizirane razlike može se koristiti za razlikovanje oblaka od snježnog pokrivača jer se snijeg apsorbira u kratkovalnom infracrvenom svjetlu, ali se odražava u vidljivom infracrvenom, dok oblaci općenito reflektiraju u obje valne duljine. Snježni pokrivač predstavljen je u intenzivnom plavom bojom [80].

#### **i) Scene classification map**

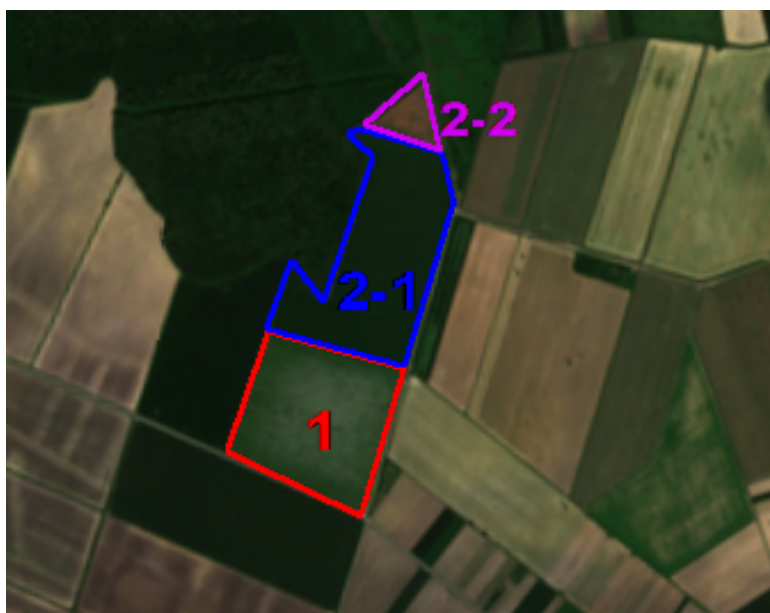
Klasifikacija scena razvijena je radi razlikovanja oblačnih piksela, bistrih piksela i vodenih piksela podataka Sentinel-2 kao rezultat ESA-inog algoritma za klasifikaciju scena. Dvanaest je različitih klasifikacija, uključujući klase oblaka, vegetacije, tla/pustinje, vode i snijega [80].

#### 4. ANALIZA POLJOPRIVREDNIH KULTURA KORIŠTENJEM SATELITSKIH SNIMAKA

U ovom poglavlju istraženo je korištenje satelitskih snimki u analizi poljoprivrednih čestica, to jest utjecaj klimatskih promjena na zasađene kulture.

Promjene izgleda usjeva u odnosu na vremenske prilike popraćene su analizom satelitskih snimaka dobivenih putem satelitskog preglednika EO Browser. Zemljane čestice koje su promatrane nalaze se u neposrednoj blizini grada Osijeka unutar Osječko-baranjske županije.

Na slici 4.1. su vidljive tri katastarske čestice korištene u analizi utjecaja klimatskih promjena na aktivne usjeve. Kulture koje se pojavljuju na tim česticama su pravi pir, uljana rotkva (rauola) i lucerna, a tijekom perioda promatranja kroz 2018., 2019. i 2020. godinu, redosljed zasađenih kultura po određenoj parcelnoj čestici se mijenjao. 2018. godine na čestici 1 nalazio se pravi pir, na čestici 2-1 uljana rotkva, a na čestici 2-2 lucerna. 2019. godine zamijenjene su zasađene kulture na česticama 1 i 2-1 pa se tako na čestici 1 nalazila uljana rotkva, na čestici 2-1 pravi pir, a na čestici 2-2 lucerna kao i 2018. godine. 2020. godine čestice 1 i 2-1 sadržavale su uljanu rotkvu, a kao i prethodnih godina, čestica 2-2 je zadržala kulturu lucerne. Detalji o datumima sjetve i skidanja mogu se vidjeti su na tablici 4.1.



Sl. 4.1. Promatrane parcele (čestice)



**Tab. 4.1.** *Popis kultura na promatranim parcelama i datumi sijanja/skidanja*

<b>2018. godina</b>			
<i>Parcela</i>	<i>Zasađena kultura</i>	<i>Datum sjetve</i>	<i>Datum skidanja</i>
1	Pravi pir	15.10.2017.	5.7.2018.
2-1	Uljana rotkva (rauola)	26.3.2018.	28.7.2018.
2-2	Lucerna	15.3.2018.	20.5., 20.7., 20.8.2018.

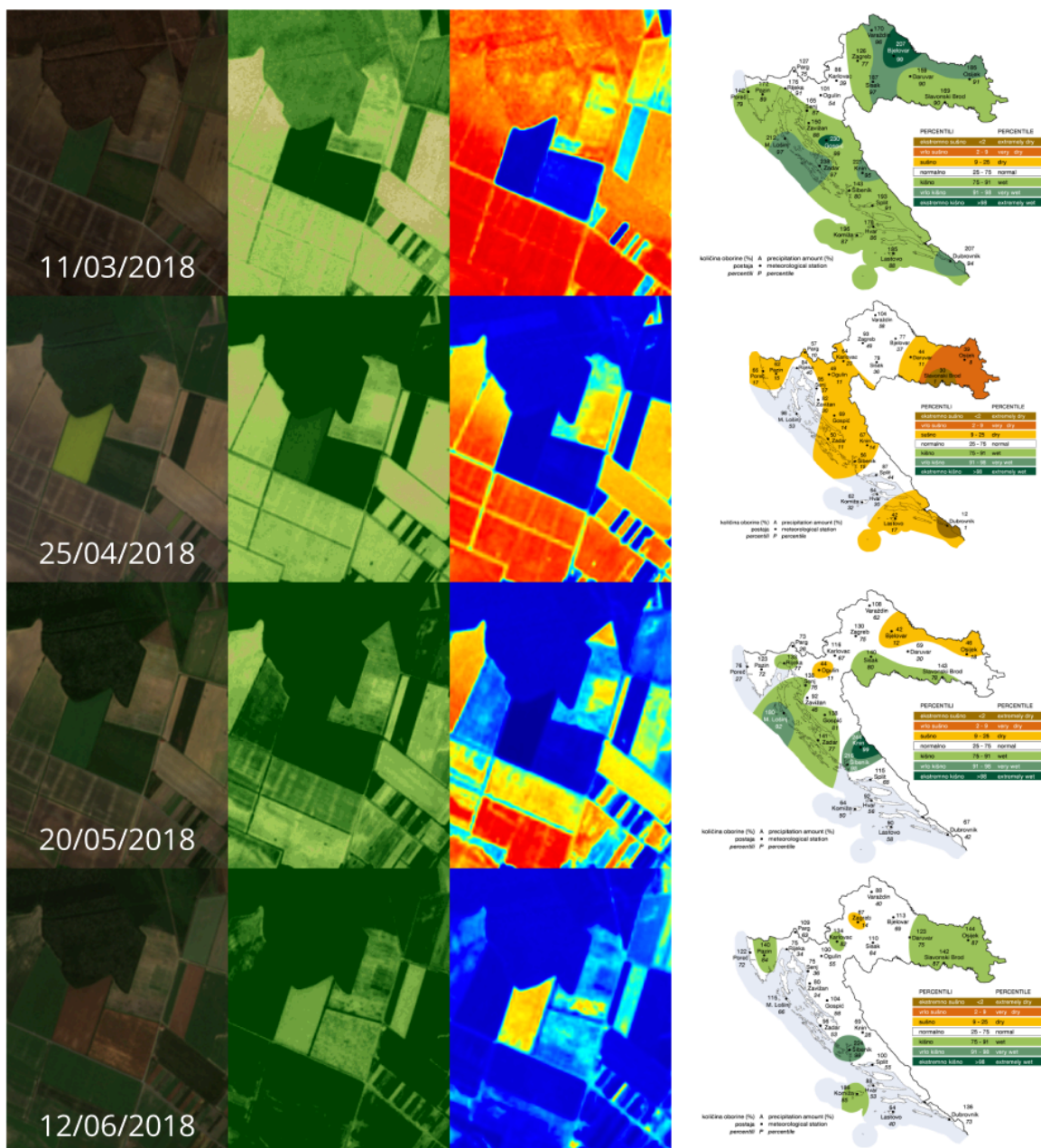
<b>2019. godina</b>			
<i>Parcela</i>	<i>Zasađena kultura</i>	<i>Datum sjetve</i>	<i>Datum skidanja</i>
1	Uljana rotkva (rauola)	15.3.2019.	28.7.2018.
2-1	Pravi pir	20.10.2018.	7.7.2019.
2-2	Lucerna	15.3.2018.	20.5., 20.7., 20.8.2019.

<b>2020. godina</b>			
<i>Parcela</i>	<i>Zasađena kultura</i>	<i>Datum sjetve</i>	<i>Datum skidanja</i>
1	Uljana rotkva (rauola)	15.3.2020.	29.7.2020.
2-1	Uljana rotkva (rauola)	16.3.2020.	28.7.2020.
2-2	Lucerna	15.3.2018.	20.5., 20.7., 20.8.2020.

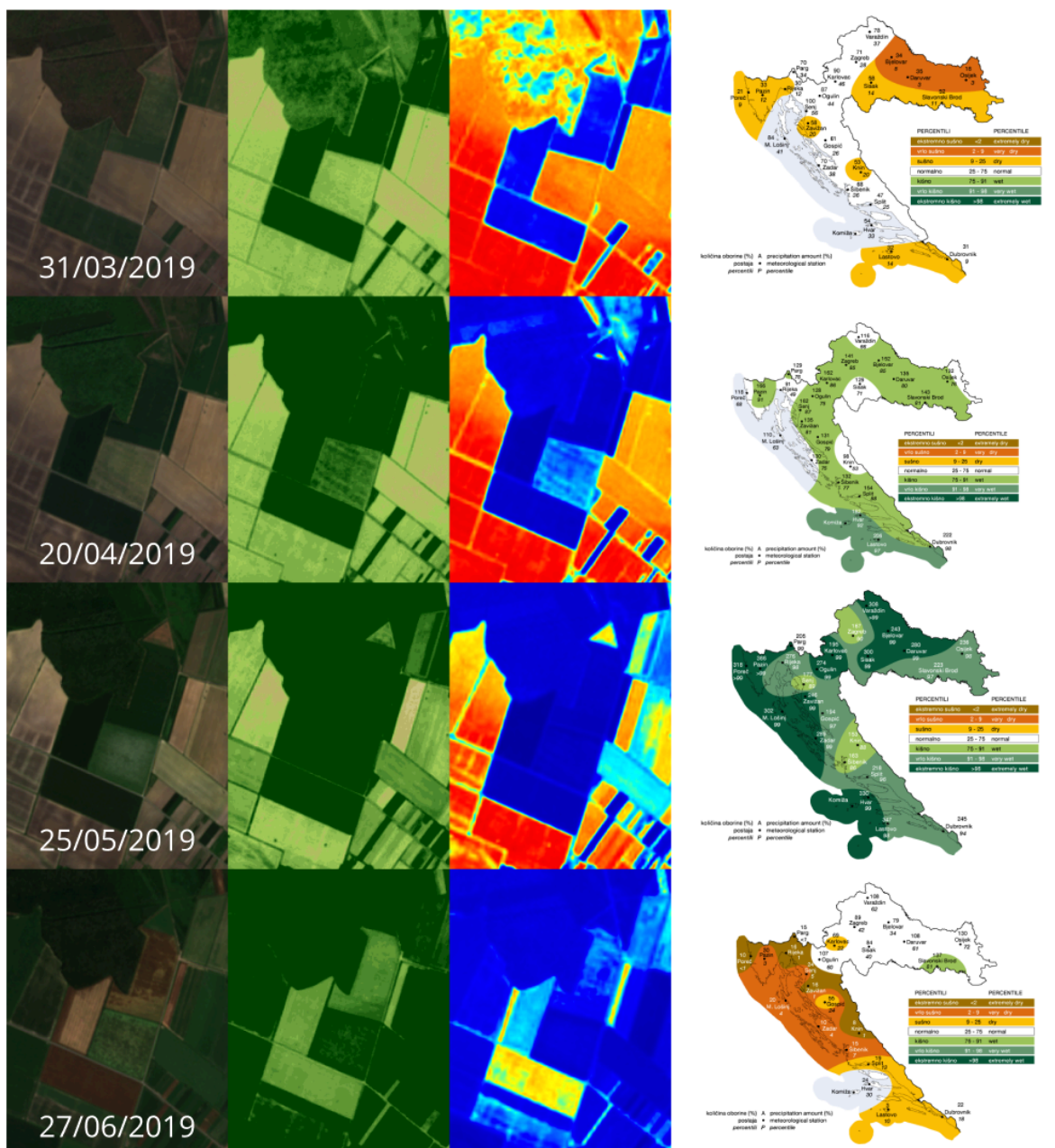
#### **4.1. Utjecaj klimatskih promjena na posijanim kulturama**

Klimatske promjene praćene su putem DHMZ (Držani hidrometeorološki zavod) stranice za praćenje klime i klimatskih promjena [79] za mjesec ožujak, travanj, svibanj i lipanj. Tijekom istraživanja, ti podaci su korelirani sa podacima satelitskih snimaka EO Browser platforme za čestice 1, 2-1 i 2-2 te su na osnovu toga opisana ponašanja pojedinih kultura u različitim mjesecima. Kultura lucerna koja se nalazi na čestici 2-2 nije se uzimala u obzir prilikom istraživanja zbog male površine i trokutastog oblika koji su doveli do nekonzistentnih i otežanih očitavanja satelitskih snimaka.



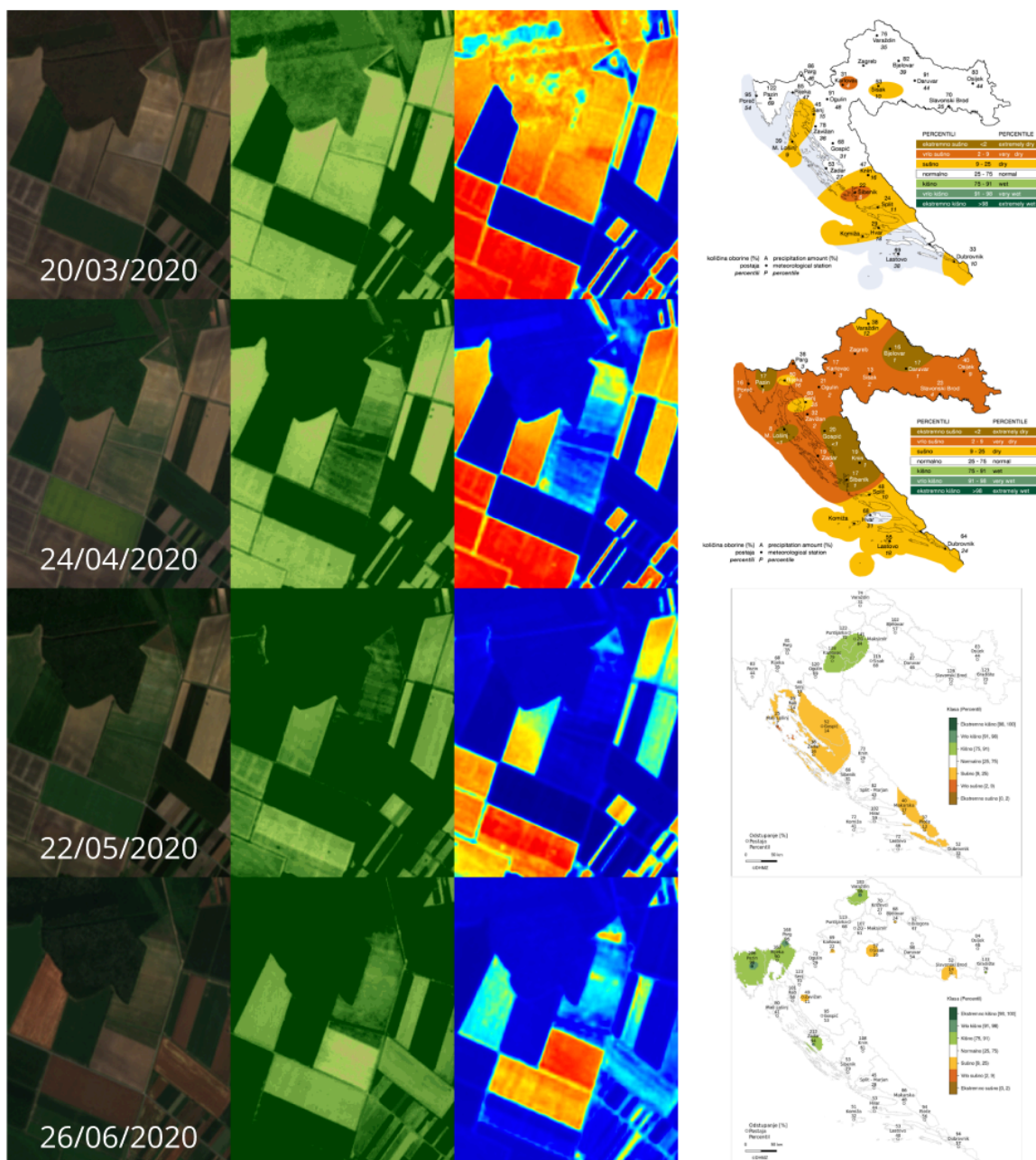
Sl. 4.2. Pregled promjene usjeva i oborina 2018. godine

Ožujak 2018. godine karakteriziran je kao vrlo kišovito. Usjev pira u odnosu na isti period 2019. godine puno je bujniji što je posljedica zadovoljavajućih količina oborina. Suprotno tome, travanj 2018. godine karakteriziran je velikom sušom što je vidljivo NDMI indeksom usjeva pira na slici 4.2. Usjev pira sa prethodno spomenute slike je u stresu uslijed velike suše, te je u lošijoj kondiciji naspram usjeva pira u travnju 2019. godine. U svibnju 2018. godine nastavlja se sušni period zbog kojeg je pir zahvaćen blažim vodenim stresom. Također, usjev uljane rotkve neravnomjerno niče, što je vidljivo NDMI indeksom kroz travanj, svibanj i lipanj.



Sl. 4.3. Pregled promjene usjeva i oborina 2019. godine

2019. godina značajna je po zamjeni plodoreda čestica 1 i 2-1 gdje su zamijenjene kulture pravog pira i uljane rotkve. Ožujak 2019. bio je vrlo sušan što je vidljivo prema karti DHMZ. Nakon njega uslijedio je kišoviti travanj što je rezultiralo ravnomjernijim nicanjem i rastom uljane rotkve u odnosu na prethodnu godinu kada je travanj bio sušan. To je vidljivo konzistentnom vrijednosti NDMI indeksa na slici 4.3. Daljnji rast uljane rotkve tijekom svibnja obilježen je pojačanim kišama.



SI. 4.4. Pregled promjene usjeva i oborina 2020. godine

U 2020. godini na čestici 2-1 posijana je uljana rotkva koja se sada nalazi na česticama 1 i 2-1. Travanj je bio vrlo sušan što je rezultiralo otežanim nicanjem i rjeđim sklopom biljaka. Iz slike 4.4. je vidljivo kako je čestica 2-1 u odnosu na česticu 1 bila zahvaćenija vodenim stresom, te je sklop biljaka bio rjeđi. Zbog napada štetnika (buhac), sredinom lipnja je uočena visoka prorijeđenost usjeva na čestici 1 zbog čega je uljana rotkva potanjurana 23.06.2020. (slika 4.4.).

## 5. ZAKLJUČAK

U ovome radu istražene su i opisane osnove hiperspektralnog satelitskog snimanja, opisan je potencijal, suvremene primjene te su predstavljene i opisane Sentinel sateliske misije Copernicus programa Europske unije. Istraženi su i proučeni servisi za pristup hiperspektralnim satelitskim snimkama, a detaljnije je objašnjen i u praktičnom dijelu korišten preglednik satelitskih snimaka EO Browser. Ističe se svojim jednostavnim, modernim i intuitivnim grafičkim sučeljem pomoću kojega je vrlo lako pronaći, istražiti i pristupiti hiperspektralnim snimkama željenih područja. Dodatnim istraživanjem teme hiperspektralnih snimaka, navedene su i opisane suvremene primjene koje nisu vezane samo uz satelitsko snimanje, a kroz praktični rad je pokazana primjena hiperspektralnog satelitskog snimanja u području poljoprivrede.

## LITERATURA

- [1] Chein-I Chang, "Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification", July. 2003.
- [2] Hyperspectral image data cube, [https://www.researchgate.net/figure/Example-of-a-hyperspectral-image-data-cube-Each-pixels-consists-of-a-complete-reflection\\_fig2\\_259215766](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-a-hyperspectral-image-data-cube-Each-pixels-consists-of-a-complete-reflection_fig2_259215766) [26.05.2020.]
- [3] S. Liang, X. Li, J. Wang, "Advanced Remote Sensing", 2012.
- [4] G. A. Leiva-Valenzuela, R. Lu, and J. M. Aguilera, "Prediction of firmness and soluble solids content of blueberries using hyperspectral reflectance imaging," *J. Food Eng.*, vol. 115, no. 1, pp. 91–98, 2013.
- [5] M. Huang, Q. Zhu, B. Wang, and R. Lu, "Analysis of hyperspectral scattering images using locally linear embedding algorithm for apple mealiness classification," *Comput. Electron. Agriculture*, vol. 89, pp. 175–181, Nov. 2012.
- [6] H. Huang, L. Liu, M. O. Ngadi, and C. Gariépy, "Rapid and non-invasive quantification of intramuscular fat content of intact pork cuts," *Talanta*, vol. 119, pp. 385–395, Feb. 2014.
- [7] S. Serranti, D. Cesare, F. Marini, and G. Bonifazi, "Classification of oat and groat kernels using NIR hyperspectral imaging," *Talanta*, vol. 103, pp. 276–284, Jan. 2013.
- [8] S. Kumar, C. Desmedt, D. Larsimont, C. Sotiriou, and E. Goormaghtigh, "Change in the microenvironment of breast cancer studied by FTIR imaging," *Analyst*, vol. 138, no. 14, pp. 4058–4065, 2013.
- [9] Z. Liu, H. Wang, and Q. Li, "Tongue tumor detection in medical hyperspectral images," *Sensors*, vol. 12, no. 1, pp. 162–174, 2012.
- [10] D. T. Dicker et al., "Differentiation of normal skin and melanoma using high resolution hyperspectral imaging," *Cancer Biol. Ther.*, vol. 5, no. 8, pp. 1033–1038, 2016.
- [11] E. O. Olweny et al., "Renal oxygenation during robotic-assisted laparoscopic partial nephrectomy: Characterization using laparoscopic digital light processing hyperspectral imaging," *J. Endourol.*, vol. 27, no. 3, pp. 265–269, 2013.
- [12] Modern Trends in Hyperspectral Image Analysis: A Review, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8314827> [16.06.2020.]
- [13] A grayscale representation of a melanoma lesion, [https://www.researchgate.net/figure/A-grayscale-representation-of-a-melanoma-lesion-showing-the-transmission-Spectra-in-the\\_fig2\\_323551117](https://www.researchgate.net/figure/A-grayscale-representation-of-a-melanoma-lesion-showing-the-transmission-Spectra-in-the_fig2_323551117) [19.06.2020.]
- [14] D. Tilman, C. Balzer, J. Hill, and B. L. Befort, "Global food demand and the sustainable intensification of agriculture," *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, vol. 108, no. 50, pp. 20260–20264, 2011.
- [15] D. K. Ray, N. Ramankutty, N. D. Mueller, P. C. West, and J. A. Foley, "Recent patterns of crop yield growth and stagnation," *Nature Commun.*, vol. 3, Dec. 2012, Art. no. 1293.

- [16] H. C. J. Godfray et al., “Food security: The challenge of feeding 9 billion people,” *Science*, vol. 327, no. 5967, pp. 812–818, 2010
- [17] R. Colombo et al., “Estimation of leaf and canopy water content in poplar plantations by means of hyperspectral indices and inverse modeling,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, no. 4, pp. 1820–1834, 2008.
- [18] A. C. Schuerger et al., “Comparison of two hyperspectral imaging and two laser-induced fluorescence instruments for the detection of zinc stress and chlorophyll concentration in bahia grass (*Paspalum notatum* Flugge.),” *Remote Sens. Environ.*, vol. 84, no. 4, pp. 572–588, 2003.
- [19] E. Ben-Dor, K. Patkin, A. Banin, and A. Karnieli, “Mapping of several soil properties using DAIS-7915 hyperspectral scanner data—A case study over clayey soils in Israel,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 23, no. 6, pp. 1043–1062, 2002.
- [20] C. Gomez, R. A. V. Rossel, and A. B. McBratney, “Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study,” *Geoderma*, vol. 146, nos. 3–4, pp. 403–411, 2008.
- [21] HSI based fine classification of vegetable growing regions, [https://www.researchgate.net/figure/HSI-based-fine-classification-of-vegetable-growing-regions\\_fig5\\_323551117](https://www.researchgate.net/figure/HSI-based-fine-classification-of-vegetable-growing-regions_fig5_323551117) [26.07.2020.]
- [22] H. Xingtang et al., “A new architecture for remote-sensing environmental monitoring system REMS: Design and implementation,” in *Proc. IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp. (IGARSS)*, Sep. 2004, pp. 2115–2118.
- [23] J. S. Li, “Study on retrieval of inland water quality parameters from hyperspectral remote sensing data by analytical approach—Taking Taihu Lake as an example,” Ph.D. dissertation, Inst. Remote Sens. Appl., Chinese Acad. Sci., Beijing, China, 2007.
- [24] Distribution of the suspended matter concentration of Meiliang Bay of Taihu Lake, [https://www.researchgate.net/figure/Distribution-of-the-suspended-matter-concentration-of-Meiliang-Bay-of-Taihu-Lake-a\\_fig6\\_323551117](https://www.researchgate.net/figure/Distribution-of-the-suspended-matter-concentration-of-Meiliang-Bay-of-Taihu-Lake-a_fig6_323551117) [28.07.2020.]
- [25] F. Ip et al., “Flood detection and monitoring with the Autonomous Sciencecraft Experiment onboard EO-1,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 101, no. 4, pp. 463–481, 2006.
- [26] G. R. Brakenridge, E. Anderson, and S. V. Nghiem, “Satellite microwave detection and measurement of river floods,” in *Proc. AGU Spring Meeting Abstracts*, vol. 1. 2006, p. 5.
- [27] M. Chawira, T. Dube, and W. Gumindoga, “Remote sensing based water quality monitoring in Chivero and Manyame lakes of Zimbabwe,” *Phys. Chem. Earth, A/B/C*, vol. 66, pp. 38–44, 2013.
- [28] S. Koponen, “Remote sensing of water quality: The development and use of water processors available in BEAM,” Dept. Radio Sci. Eng., Helsinki Univ. Technol., Espoo, Finland, Tech. Rep., 2006, pp. 1–58.
- [29] K. S. Schmidt and A. K. Skidmore, “Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 85, no. 1, pp. 92–108, 2003.
- [30] V. Aginsky, “Forensic examination of ‘slightly soluble’ ink pigments using thin-layer chromatography,” *J. Forensic Sci.*, vol. 38, no. 5, pp. 1131–1133, 1993.

- [31] S. J. Kim, F. Deng, and M. S. Brown, “Visual enhancement of old documents with hyperspectral imaging,” *Pattern Recognit.*, vol. 44, no. 7, pp. 1461–1469, 2011.
- [32] G. J. Edelman, E. Gaston, T. G. van Leeuwen, P. J. Cullen, and M. C. G. Aalders, “Hyperspectral imaging for non-contact analysis of forensic traces,” *Forensic Sci. Int.*, vol. 223, nos. 1–3, pp. 28–39, 2012.
- [33] A. Abbas, K. Khurshid, and F. Shafait, “Towards automated ink mismatch detection in hyperspectral document images,” in *Proc. 14th IAPR Int. Conf. Document Anal. Retr. (ICDAR)*, Kyoto, Japan, Nov. 2017.
- [34] M. J. Khan, A. Yousaf, K. Khurshid, A. Abbas, and F. Shafait, “Automated forgery detection in multispectral images using fuzzy clustering,” in *Proc. 13th IAPR Int. Workshop Document Anal. Syst. (DAS)*, Vienna, Austria, 2018.
- [35] Documents with mixed ink, [https://www.researchgate.net/figure/Comparisons-of-ground-truth-images-of-documents-with-mixed-inks-and-our-final\\_fig21\\_323551117](https://www.researchgate.net/figure/Comparisons-of-ground-truth-images-of-documents-with-mixed-inks-and-our-final_fig21_323551117) [29.07.2020.]
- [36] C. McAndrew, “TEFAF art market report 2014: The global art market, with a focus on the US and China,” *Eur. Fine Art Found.*, Helvoirt, The Netherlands, Tech. Rep., 2014.
- [37] A. Adriaens, “COST action G8: Non-destructive analysis and testing of museum Objects,” in *Proc. Benefits Non-Destructive Anal. Techn. Conservation*, 2004, pp. 187–188.
- [38] G. D. Smith, J. F. Hamm, D. A. Kushel, and C. E. Rogge, “What’s wrong with this picture? The technical analysis of a known forgery,” in *Collaborative Endeavors the Chemical Analysis of Art and Cultural Heritage Materials*. Washington, DC, USA: ACM, 2012, pp. 1–21.
- [39] A. Casini, F. Lotti, M. Picollo, L. Stefani, and E. Buzzegoli, “Image spectroscopy mapping technique for noninvasive analysis of paintings,” *Stud. Conservation*, vol. 44, no. 1, pp. 39–48, 1999.
- [40] M. Kubik, “Hyperspectral imaging: A new technique for the non-invasive study of artworks,” *Phys. Techn. Study of Art, Archaeol. Cultural Heritage*, vol. 2, pp. 199–259, 2007.
- [41] C. Cucci, J. K. Delaney, and M. Picollo, “Reflectance hyperspectral imaging for investigation of works of art: Old master paintings and illuminated manuscripts,” *Accounts Chem. Res.*, vol. 49, no. 10, pp. 2070–2079, 2016.
- [42] A. Polaka et al., “Hyperspectral imaging combined with data classification techniques as an aid for artwork authentication,” *J. Cultural Heritage*, vol. 26, pp. 1–11, Jul./Aug. 2017.
- [43] Two paintings with forgery, [https://www.researchgate.net/figure/Two-paintings-with-forgery-a-Grid-canvas-and-color-coded-pigments-b-c-Forged\\_fig7\\_323551117](https://www.researchgate.net/figure/Two-paintings-with-forgery-a-Grid-canvas-and-color-coded-pigments-b-c-Forged_fig7_323551117) [30.07.2020.]
- [44] M. Attas et al., “Near-infrared spectroscopic imaging in art conservation: Investigation of drawing constituents,” *J. Cultural Heritage* vol. 4, no. 2, pp. 127–136, 2003
- [45] A. C. Goldberg, B. Stann, and N. Gupta, “Multispectral, hyperspectral, and three-dimensional imaging research at the U.S. Army research laboratory,” in *Proc. 6th Int. Conf. Inf. Fusion*, Cairns, Qld, Australia, Jul. 2003, pp. 499–506.



- [46] P. W. T. Yuen and G. Bishop, “Hyperspectral multiple approach fusion for the long-range detection of low observable objects: MUF2,” Proc. SPIE, vol. 6396, p. 63960C-1–63960C-12, Oct. 2006.
- [47] D. Letalick, I. Renhorn, and O. Steinvall, “Multi-optical mine detection system (MOMS) final report,” FOI Swedish Defence Res. Agency, Tech. Rep., Dec. 2009.
- [48] A. M. Thomas and J. M. Cathcart, “Applications of grid pattern matching to the detection of buried landmines,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 48, no. 9, pp. 3465–3470, Sep. 2010.
- [49] M.-A. Gagnon et al., “Airborne thermal infrared hyperspectral imaging of buried objects,” Proc. SPIE, vol. 9454, p. 94540K, May 2015.
- [50] J. Tan, “Meat quality evaluation by computer vision,” J. Food Eng., vol. 61, no. 1, pp. 27–35, 2004.
- [51] Detection of Psychological Stress, [https://www.researchgate.net/publication/273396321\\_Detection\\_of\\_Psychological\\_Stress\\_Using\\_a\\_Hyperspectral\\_Imaging\\_Technique](https://www.researchgate.net/publication/273396321_Detection_of_Psychological_Stress_Using_a_Hyperspectral_Imaging_Technique) [05.08.2020.]
- [52] Copernicus logo, <https://www.copernicus.eu/en/media/images/copernicus-logo> [08.05.2020.]
- [53] Copernicus missions - Sentinel-2 satellite mission, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> [08.05.2020.]
- [54] ESA missions, <https://earth.esa.int/web/guest/missions> [12.05.2020.]
- [55] Copernicus hub, <https://www.copernicus.eu/en> [12.05.2020.]
- [56] Survey of Hyperspectral Earth Observation Applications from Space in the Sentinel-2 Context, by Julie Transon, Raphaël D’Andrimont, Alexandre Maignard and Pierre Defourny
- [57] Copernicus Sentinel-2A Calibration and Products Validation Status, <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/6/584/html> [28.05.2020.]
- [58] Sentinel satellites Copernicus program, <https://gisgeography.com/sentinel-satellites-copernicus-programme> [09.06.2020.]
- [59] Sentinel-3 satellite description, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3/satellite-description> [09.06.2020.]
- [60] Sentinel-4 overview, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-4/overview> [09.06.2020.]
- [61] Sentinel-5 overview, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5/overview> [09.06.2020.]
- [62] Sentinel-5 data products, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5/data-products> [10.06.2020.]
- [63] Sentinel-5P satellite description, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p/satellite-description> [10.06.2020.]

- [64] Sentinel-5P instrumental payload, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p/instrumental-payload> [10.06.2020.]
- [65] NASA Jason-3 mission, <https://www.jpl.nasa.gov/missions/jason-3> [12.06.2020.]
- [66] Sentinel-6 mission summary, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-6/mission-summary> [12.06.2020.]
- [67] Mission Sentinel-6, [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-6](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6) [12.06.2020.]
- [68] Sentinel-2 MSI, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview> [28.05.2020.]
- [69] The multispectral instrument of the Sentinel2 program, <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10566/105660H/The-multispectral-instrument-of-the-Sentinel2-program/10.1117/12.2308278.full?SSO=1> [28.05.2020.]
- [70] Sentinel-2 - A valuable tool in environmental studies, <https://www.cls.fr/en/sentinel-2-environmental-studies> [28.05.2020.]
- [71] Copernicus Access to Data, <https://www.copernicus.eu/en/access-data> [06.09.2020.]
- [72] DIAS, <https://www.copernicus.eu/en/access-data/dias> [06.09.2020.]
- [73] Conventional Data Access Hubs, <https://www.copernicus.eu/en/access-data/conventional-data-access-hubs> [12.09.2020.]
- [74] Sentinel-2 Processing Levels, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels> [12.09.2020.]
- [75] Sentinel-2 Product Types, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types> [13.09.2020.]
- [76] Sentinel-2 Products Specification Document, <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2-Products-Specification-Document> [14.09.2020.]
- [77] Sentinel-2 Products, <https://gdal.org/drivers/raster/sentinel2.html> [14.09.2020.]
- [78] RGB Composites (Sentinel-2), <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/composites> [20.09.2020.]
- [79] DHMZ - Pregled količina oborina, [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_pracenje&param=ocjena&el=msg\\_ocjena&MjesecSezona=godina&Godina=2018](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje&param=ocjena&el=msg_ocjena&MjesecSezona=godina&Godina=2018) [21.09.2020.]
- [80] Sentinel-2 Composites, <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/composites> [22.09.2020.]
- [81] False color (urban), <https://eos.com/false-color> [22.09.2020.]

## SAŽETAK

Još od razvoja prvih satelitskih snimaka znanstvenici su tražili način kako te snimke upotrijebiti u svrhu predviđanja i praćenja prirodnih nepogoda te mogućnosti izbjegavanja istih reagirajući pravovremeno. Mala rezolucija satelitskih snimaka godinama je bila prepreka za uspješno provođenje prethodno spomenutih akcija.

Europska svemirska agencija razvila je satelitske misije Sentinel koje omogućavaju uvid u šest glavnih područja primjene: zemlju, more, atmosferu, procjenu klime, sigurnost i upravljanje hitnim intervencijama. Sentinel sateliti predstavljaju veliki napredak u poboljšanju prostorne rezolucije snimaka što dovodi do sve veće znanstvene i edukativne uporabe snimaka Sentinel satelita.

Ključne riječi: Copernicus, ESA (Europska svemirska agencija), hiperspektralne snimke

## **ABSTRACT**

Since the development of the first satellite images, scientists have been looking for ways to use these shots to predict and monitor natural disasters, and to avoid them by reacting timely. The low resolution of satellite footage has been an obstacle for years to successfully implement the aforementioned actions.

The European Space Agency has developed Sentinel satellite missions to provide insight into six main areas of application: land, sea, atmosphere, climate assessment, security, and emergency response management. Sentinel satellites represent great advances in improving the spatial resolution of images, leading to an ever-increasing scientific and educational use of Sentinel satellite images.

Keywords: Copernicus, ESA (European Space Agency), hyperspectral images

## ŽIVOTOPIS

Dominik Kotris rođen je 9. lipnja 1994. godine u Osijeku gdje je i odrastao. Pohađao je Osnovnu školu Grigora Viteza nakon koje upisuje III. gimnaziju Osijek. Uspješnim maturiranjem 2013. godine završava srednjoškolsko obrazovanje te iste godine izravnim upisom upisuje sveučilišni preddiplomski studij računarstva na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Završetkom preddiplomskog studija računarstva, 2017. godine, na istom fakultetu upisuje diplomski studij računarstva, izborni blok Računalno inženjerstvo.

Tijekom studija odnosi razne pobjede na natjecanjima najboljih poslovnih planova i programerskih natjecanja tipa hackathon, a najveći uspjeh bila mu je pobjeda sveučilišnog natjecanja “Idejom do Amerike” gdje je sa svojim timom i poduzetničkom idejom došao do svjetskoga natjecanja studenatskih startupa u američkom gradu Fort Worth, Texas. Od 2017. godine radi u osječkoj tvrtci Barrage kao dizajner korisničkih sučelja i iskustava.