

Digitalna obrada i detekcija anomalija iz satelitskih snimaka vodenih površina u lukama

Matetić, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:809747>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
Studij politehnike i informatike

Iva Matetić

**Digitalna obrada i detekcija anomalija iz satelitskih
snimaka vodenih površina u lukama**

Diplomski rad

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

Rijeka, 2021

Zadatak za diplomski rad

Pristupnik: Iva Matetić

Naziv diplomskog rada: Digitalna obrada i detekcija anomalija iz satelitskih snimaka vodenih površina u lukama

Naziv diplomskog rada na eng. jeziku: Digital processing and detecting anomalies from satellite imagery of water surfaces in ports

Sadržaj zadatka: Putem alata daljinske analize utvrditi onečišćenje vode u riječkoj luci i uzroke onečišćenja, opisati korištene alate, te njihovu primjenjivost na analizu stanja voda u drugim lukama s ciljem njihova ozelenjavanja.

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger



(potpis mentora)

Komentor: (ime i prezime)

Voditelj za diplomske radove



Zadatak preuzet:

(potpis pristupnika)

Sadržaj

POPIS SLIKA	1
POPIS TABLICA.....	2
SAŽETAK.....	3
SUMMARY	4
1. Uvod.....	5
2. Luke.....	5
2.1. Onečišćenje mora u lukama	6
2.1.1. Utjecaj brodova na morski okoliš.....	7
2.1.2. Crne otpadne vode.....	9
2.1.3. Otpadne vode iz kaljuže	10
2.1.4. Otpadne balastne vode.....	10
2.2. Zelene luke	11
2.2.1. Hladno glačanje.....	13
2.2.2. Infrastruktura za prihvat otpada.....	13
2.2.3. Rukovanje teretom i prijevoz tereta	14
2.2.4. Evidencija emisija stakleničkih plinova	14
2.2.5. Okolišni indeks broda (ESI)	15
2.2.6. Ugovori o koncesiji	15
2.2.7. Lučke pristojbe	15
3. Sateliti.....	16
3.1. Daljinsko istraživanje	17
3.1.1. Proces dohvaćanja podataka putem daljinskog istraživanja.....	18
3.1.2. Prednosti.....	19
3.1.3. Nedostaci.....	20
3.1.4. Razlučivost slika.....	20
3.2. Elektromagnetsko zračenje.....	24
3.2.1. Očuvanje energije.....	25
3.3. Sateliti za opažanje Zemlje.....	26
3.3.1. Promatranje kvalitete vode	27
3.3.2. Parametri za nadzor kakvoće vode	29
3.3.3. Primjeri analiza vodenih površina	32
4. Analiza podataka	35
4.1. Alati.....	35

4.1.1. NASA Worldview	35
4.1.2. EO Dashboard	36
4.1.3. Sentinel Hub	36
4.1.3.1. Rezultati filtera za detekciju klorofila i sedimenata	37
4.2. NDWI filter	40
4.2.1. Postavljanje NDWI filtera na sliku.....	40
4.2.2. Rezultati NDWI filtera	42
5. Metodčki dio	43
5.1. Analiza nastavnog programa srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada.....	43
5.2. Nastavna priprema.....	45
6. Zaključak.....	53
LITERATURA.....	54

POPIS SLIKA

Slika 1. Klasifikacija brodskog otpada i otpada od tereta koji se ispušta u i izvan lučkog okruženja (Donau, V. Danube Ports. 2010.).	8
Slika 2. Prikaz putničkog broda tokom ispuštanja crnih voda ispred luke (Zadarski.hr, 2020.).	9
Slika 3. Ispuštanje balastnih otpadnih voda sa broda (The Maritime Exclusive, 2017.).	11
Slika 4. Proces daljinskog istraživanja (NRCAN, 2015.).	18
Slika 5. Prostorna rezolucija (Earth Observing System, 2019.).	21
Slika 6. Usporedba spektralne razlučivosti dva satelita (Earth Observing System, 2019.).	22
Slika 7. Usporedba radiometrijske rezolucije (Earth Observing System, 2019.).	23
Slika 8. Elektromagnetski spektar (NASA - Goddard Space Flight Center, Imagine the Universe, 2013.).	24
Slika 9. Spektri materijala refleksije (Christine M. Lee, 2014.).	25
Slika 10. Razlika pasivnog i aktivnog daljinskog istraživanja (Grindgis, 2015.).	27
Slika 11. Prikaz parametara za kvalitetu vode (NASA ARSET, 2020.).	28
Slika 12. Prikaz filtera analize sedimenata u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).	29
Slika 13. Prikaz filtera analize klorofila u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).	30
Slika 14. Prikaz filtera koeficijenta difuznog prigušenja u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).	30
Slika 15. Prikaz filtera analize temperature morske površine u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).	31
Slika 16. Prikaz filtera analize cvjetanja algi u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).	31
Slika 17. Analiza boje oceana u Aljaškom zaljevu (NASA video, 2019.).	33
Slika 18. Analiza promjene razine oceana u svijetu (NASA video, 2019.).	33
Slika 19. Mapiranje koraljnih grebena na području Indijskog i Tihog oceana (NASA video, 2019.).	34
Slika 20. Analiza filtera klorofila i sedimenata (Sentinel-hub - Github repository, 2021.).	37
Slika 21. Sentinel Hub fotografija iz veljače 2019. godine (Sentinel-hub, 2019.).	38
Slika 22. Sentinel Hub fotografija iz rujna 2019. godine (Sentinel-hub, 2019.).	38
Slika 23. Mjesta uzorkovanja mora (Vukušić, Marin, 2019.).	39
Slika 24. NDWI filter na području Riječke luke za rujna 2020. godine.	42
Slika 25. Primjer radnog lista sa zadanim zadatkom.	50
Slika 26. Primjer radnog lista sa prikazanim rješenjem zadatka.	51

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prosječna količina kaljužne vode za različite vrste plovila (Berger, 2012.)	10
Tablica 2. Nastavni sadržaj predmeta informatika za treći razred (Okvirni godišnji izvedbeni kurikulumi za nastavnu godinu 2021./2022.).....	42

SAŽETAK

Ekološki problemi predstavljaju neke od najvećih izazova današnjice za ljude, životinje i biljni svijet. U svijetu u kojem se događaju stalne promjene potrebna su brza i moderna rješenja za takve probleme stoga je bitno pratiti nove tehnologije te iste ukomponirati u praćenje okoliša s ciljem suzbijanja i umanjivanja posljedica. Rad obrađuje tehnologiju daljinskog istraživanja na području Riječke luke gdje se analizira stanje kvalitete mora. Naime, pomorstvo je industrija koja znatno utječe na okoliš, a Rijeka je ujedno i najveća luka Republike Hrvatske pa je stoga važno pravovremeno unaprijediti novi sustav nadzora okoliša u takvom području. Provedeno je istraživanje o institucijama koje su odgovorne za uzorkovanja lučkih voda u Hrvatskoj, daje se pregled daljinskog istraživanja i alata za analizu kvalitete mora, te definira pojam zelenih luka kojima treba težiti u budućnosti.

Ključne riječi: luke, onečišćenje mora, daljinsko istraživanje, satelitske slike, analiza kvalitete mora, IOT, sateliti.

SUMMARY

Environmental problems currently present major challenges of today for humans, fauna, and flora. In a world where changes are constantly happening, fast and modern solutions to such problems are needed, so it is important to monitor new technologies and incorporate them into environmental monitoring to combat and reduce the consequences. The paper deals with the technology of remote sensing in the Port of Rijeka, where the state of sea quality will be analyzed. Namely, maritime is an industry that significantly affects the environment, and Rijeka is also the largest port in the Republic of Croatia, so it is important to prepare a new environmental monitoring system in such area. A survey was conducted on the institutions responsible for sampling port waters in Croatia. The thesis provides an overview of remote sensing and tools for sea quality analysis and defines the concept of green ports to strive for in the future.

Keywords: ports, marine pollution, remote sensing, satellite imagery, water quality analysis, IOT, satellites.

1. Uvod

Globalizacija i industrijalizacija su bile glavne povijesne prekretnice u razvoju društva kakvog imamo danas, no također, njihove posljedice imaju koban učinak na stanje okoliša. Stoga je potrebno pratiti nastale probleme te pronaći učinkovita rješenja ka suzbijanju onečišćenja okoliša. U ovom radu autorica predstavlja ideju praćenja satelitskih slika Riječke luke. Putem daljnjih analiza tih satelitskih slika, utvrđuje se kvaliteta morske vode s ciljem poboljšanja procesa praćenja onečišćenja luke. Proces daljinskog istraživanja kvalitete vode je i dalje novi koncept današnjice te se smatra tehnologijom budućnosti. Ovaj rad istražuje mogućnosti i potencijal za razvoj ove tehnologije u nadzoru nad lukama. Cilj rada je prikazati štetne utjecaje pomorstva na vodene površine, pokazati primjer rješenja takvog problema korištenjem tehnologije daljinskog istraživanja, napraviti digitalnu obradu slika i povezati ih sa uzorkovanjima koja su fizički prikupljena u riječkoj luci.

Rad je podijeljen u nekoliko cjelina: u prvom dijelu, se pokazuje na koji način su luke opasne za okoliš i opisuje pojam zelenih luka, tj. luka budućnosti. U drugoj dijelu su predstavljeni osnovni koncepti rada daljinske tehnologije te analiza satelitskih slika i opis procesa istraživanja vodenih površina putem satelita. Nadalje se opisuju alati korišteni pri izradi praktičnog dijela diplomskog rada uz prikaz koda, te se iznose rezultati istraživanja zajedno sa zaključkom rada.

2. Luke

Pomorske luke u Hrvatskoj glavna su središta gospodarske aktivnosti i značajni izvori onečišćenja. Brodsko gorivo, tisuće posjeta dizelskih kamiona dnevno te aktivnosti u morskim lukama uzrokuju niz problema koji mogu ozbiljno utjecati na lokalne zajednice i okoliš. Ti se učinci kreću od povećanog rizika bolesti, poput bolesti dišnog sustava ili raka, do povećanja regionalnog smoga, pogoršanja kvalitete vode i propadanja lokalnih zajednica i javnih površina.

Većina glavnih luka u Hrvatskoj prolazi kroz nadogradnju i širenje infrastrukture kako bi mogle primiti još veće količine tereta. Rast međunarodne trgovine rezultirao je odgovarajućim brzim rastom količine robe koja se otprema pomorskim transportom. Unatoč ogromnom rastu sektora pomorskog brodarstva i utjecaja luka na okoliš, većina napora na sprečavanje onečišćenja na lokalnoj i državnoj razini usmjerena je na druge izvore onečišćenja.

2.1. Onečišćenje mora u lukama

Postojeće studije pokazuju da je kontrola onečišćenja mora u lukama narušena nedostatkom administrativne kontrole i neadekvatnim osiguravanjem objekata za prihvatanje otpada. U Hrvatskim lukama usluge upravljanja otpadom i pružanje usluga prijema otpada prenose se privatnim tvrtkama bez potrebe za revizijom aktivnosti. Osim lučke uprave, druge vladine agencije također su uključene u praćenje i kontrolu onečišćenja.

Učestalost broskog onečišćenja sve više privlači pažnju međunarodne pomorske zajednice koja se bori da unaprijedi sigurnu plovidbu i zaštitu morskog okoliša. Onečišćenje mora proizlazi iz broskog tereta koji se prevozi ili otpada koji nastaje na brodu, i koji obično sadrži ulje ili uljne smjese i štetne tvari, a akumulira se radom strojeva ili aktivnostima posade koja živi na brodu. Dosadašnje studije dokumentirale su učinke onečišćenja morskog okoliša brodovima. Tu se ubraja uvođenje stranih voda u luku (što prijeti populaciji morskih životinja) i negativno utječu na gospodarstvo zemlje koje ovisi o komercijalnom ribolovu (Kloff, S., 2004).

Zbog zabrinutosti javnosti i potrebe za ublažavanjem političkih odluka, brodarstvo je aktivno nastojalo umanjiti negativne učinke na okoliš koji proizlaze iz sektora brodarstva (Helen, S., 2016.). Na međunarodnoj su razini osigurani različiti pravni instrumenti i kontrole za poticanje regulacije i provedbe od obalnih država i lučke kontrole. Primjerice, konvencija Međunarodne pomorske organizacije (engl. IMO – International Maritime Organization) o onečišćenju s broda MARPOL 73/78 propisuje mjere usmjerene na potpuno uklanjanje namjernog ispuštanja štetnih ili opasnih tvari u mora (kemikalije, ambalaže, kanalizacija i otpad). Konkretno, Aneksi I, II, III, IV, V i VI MARPOL-a 73/78 identificiraju ove izvore i sukladno njihovim odredbama lučke vlasti dužne su osigurati prihvatne kapacitete za rukovanje različitim vrstama otpada, uključujući naftu, kemikalije i miješani otpad. Luke su također dužne izraditi Plan gospodarenja lučkim otpadom, s informacijama o vrsti i smještaju objekata, zahtjevima za obavješćivanje, detaljima o pružateljima usluga i troškovima. Ovi planovi trebaju biti dostupni korisnicima luke kako bi se osiguralo da potrebe plovila budu zadovoljene odmah, bez nepotrebnog odgađanja.

Dosadašnje mjere koje je IMO primijenio u smislu konvencija i njihovog provođenja od strane države, obalne i lučke uprave dale su uspješne rezultate, posebno u smanjenju onečišćenja slučajnim izlivanjima nastalim sudarima (Szepes, 2013.). Međutim, onečišćenje

iz ne-slučajnih izvora se nije smanjilo. Stoga, možemo očekivati dugoročni porast razine onečišćenja mora u lukama uzrokovanim brodskim ispuštima.

2.1.1. Utjecaj brodova na morski okoliš

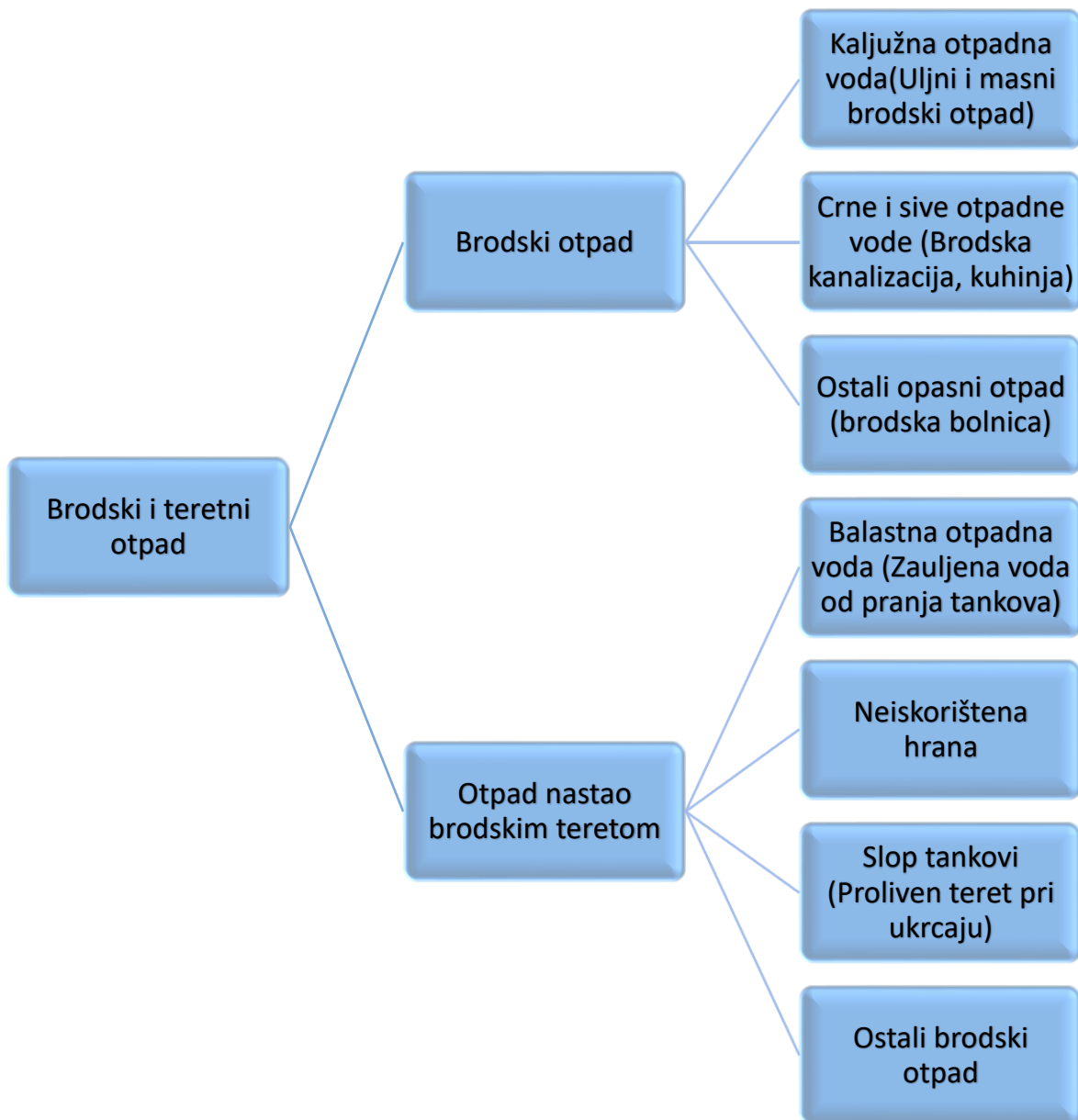
Članak 1. stavak 4. Konvencije Ujedinjenih naroda o pravu mora (engl. UNCLOS - United Nations Convention on the Law of the Sea) ima jasno definiran cilj pomorske politike da se osiguraju sigurnost i zaštita okoliša. Točnije, govori o posljedicama, koje bi mogle utjecati negativno na žive resurse i opasne su za ljudsko zdravlje te mogu biti prepreka morskim aktivnostima, uključujući ribolov i druge legitimne potrebe mora.

Konkretno, postoje razni oblici utjecaja brodova na morski okoliš, a oni prema (Ware, K., 2009.) uključuju:

- Onečišćenje uljem i opasnim ili otrovnim tvarima uslijed slučajnih, operativnih i ilegalnih ispuštanja;
- Onečišćenje zraka emisijama i česticama iz ispušnih plinova motora i spremnika tereta koji se mogu prenijeti na velike udaljenosti;
- Ispuštanje operativnog otpada s brodova, uključujući ispuštanje sirove kanalizacije i smeća;
- Otpuštanje otrovnih kemikalija koje se koriste u bojama protiv obrastanja i ispiranje teških metala iz anoda;
- Unošenje neautohtonih organizama kroz balastnu vodu brodova i pripadajuće sedimente, te obrastanje trupa brodova;
- Onečišćenje i fizički utjecaj gubitkom brodova i tereta;
- Fizički i drugi utjecaji, uključujući buku i sudar s morskim sisavcima.

Njihovi su učinci uglavnom primjetni u prometnim brodskim putevima i lukama; utjecaj na ili u blizini ekološki osjetljivih područja može biti značajniji u obalnim područjima (GESAMP, 1999.). Slika 1 klasificira brodski otpad koji se može ispustiti u otvoreno more, unutarnje vode ili u luke u nedostatku prihvatnih objekata.

Otpadne vode generirane s brodova mogu se grupirati u tri osnovne vrste: kaljužne otpadne vode, crne otpadne vode (ponekad se uključuje i siva otpadna voda radi opisivanja otpadnih voda bez ljudskih fekalija) i balastne otpadne vode.



Slika 1. Klasifikacija broskog otpada i otpada od tereta koji se ispušta u i izvan lučkog okruženja (Donau, V. Danube Ports. 2010.).

2.1.2. Crne otpadne vode

Kanalizacija sa broda se naziva "crna voda" te je na slici 2 prikazan primjer ispuštanja crne vode u more zbog nepostojeće infrastrukture na kopnu.



Slika 2. Prikaz putničkog broda tokom ispuštanja crnih voda ispred luke (Zadarski.hr, 2020.).

Prethodno spomenuta konvencija MARPOL sadrži propise koji se odnose na ispuštanje crne vode u more, brodsku opremu i sustave za kontrolu. MARPOL zahtijeva da brodovi budu opremljeni ili uređajem za pročišćavanje otpadnih voda ili spremnikom za zadržavanje otpadnih voda.

2.1.3. Otpadne vode iz kaljuže

U kaljuži se skuplja voda iz različitih operativnih izvora na brodu. Kaljužna voda je mješavina vode, uljnih tekućina, maziva, tekućina za čišćenje i drugog sličnog otpada koji se akumulira u najnižem dijelu posude iz različitih izvora, uključujući glavne i pomoćne motore; kotlove, isparivače i srodne pomoćne sustave; opremu i srodne komponente; i druge mehaničke i operativne izvore pronađeni u strojarnici plovila.

Nerijetko se događa da na brodovima ulje ili voda procuri u kaljužu iz raznih brtvi, brtvila, okova, cjevovoda ili spojeva. Osim što sadrži ulje i mast, kaljužna voda može sadržavati i čvrsti otpad poput krpa, metalnih strugotina, boje, stakla i raznih kemijskih tvari. Kaljužna voda također može sadržavati hlapljive organske spojeve, poluhlapljive organske tvari, anorganske soli i metale. Ovisno o vrsti brodova koji posjećuju luke, količina isporučene kaljužne vode može varirati između 50 i 30 000 l po posjeti. U tablici 1 prikazana je prosječna količina kaljužne vode prema vrsti plovila. Propisi o kaljužnoj vodi sadržani su u konvenciji MARPOL 73/78.

Tablica 1. Prosječna količina kaljužne vode za različite vrste plovila (Berger, 2012.)

Vrsta plovila	Prosječna količina kaljužne vode (m ³ / usluga)
Teretni brod na motorni pogon	3.7
Tankeri	4
Potisni čamci	3.5
Putnički brod	1.8

2.1.4. Otpadne balastne vode

Balastna voda krca se kako bi se stabilizirao brod i podešavao gaz broda. Ako je potrebno, balastne vode se ispuštaju na plovnome putu na velikim udaljenostima od kopna. Izbačena balastna voda može sadržavati patogene i biti sredstvo prenošenja invazivnih vrsta koje se mogu brzo razmnožavati u novim uvjetima okoliša i postati ekološki štetnici (ICES, 1994.). Neki od autohtonih organizama koji su u neke zemlje uvedeni balastnom vodom uključuju euroazijsku školjku zebdu *Dreissena polymorpha*, američku *Mnemiopsis leidyi* i japansku smeđu algu *Undaria pinnatifida* (Berger, Ship Waste Management along the Danube,

2014). Ti su organizmi uzrokovali raznim državama velike financijske troškove kako bi se zaustavili negativni utjecaji na morski okoliš (Liu, N., 2011.). Na slici 3 je prikazano ispuštanje balastnih otpadnih voda sa broda.



Slika 3. Ispuštanje balastnih otpadnih voda sa broda (The Maritime Exclusive, 2017.).

2.2. Zelene luke

Iako su luke oslonac globalne ekonomije, povećani pomorski promet kroz luke, novi projekti razvoja lučke infrastrukture i funkcionalne aktivnosti u lukama mogu se povezati s nepovoljnim okolišnim i socijalnim utjecajima na obalna mjesta i susjedne zajednice (OECD, 2011.). Zbog toga su propisani stroži zakoni o zaštiti okoliša, kao i socijalni standardi i zahtjevi za okolišnu izvedbu (International Maritime Organization, 2018.). Luke su stoga postale važne ulazne točke za rješavanje okolišnih i socijalnih vanjskih utjecaja uzrokovanih pomorskim aktivnostima i važna su čvorišta za poboljšanje uspješnosti održivosti globalnih lanaca vrijednosti.

Prema Pavliču, pojam „zelena luka“ razvio se iz zajedničkih istraživačkih aktivnosti između akademske zajednice i industrije vezanih za održivost u pomorskom sektoru (Pavlič, B., 2014). Pojam zelena luka i koncept počeo se koristiti početkom 1990. godine (Burdall, A.C., 1991.). Između 1990. i 2000. godine, pojam zelenih luka doživljavao se kao „nova ideologija

za ostvarivanje održivog razvoja (u lukama) kroz koordinaciju ravnoteže između učinka na okoliš i ekonomske koristi“ (Wang, L., 2007.). Wooldridge i dr. primjećuju da su u ranim razdobljima prioritetna pitanja zaštite okoliša kojima su se bavile europske i sjevernoameričke luke uključivale kvalitetu vode, jaružanje i buku. Stoga tvrde da upravitelji luka mogu koristiti postojeće zakone koji se na njih primjenjuju kao polaznu osnovu u provođenju zelenih strategija (Wooldridge, 1999.).

Od 2010. godine, koncept zelene luke primjenjuje se kao nova paradigma koja nastoji uskladiti lučke aktivnosti s okolišnim i socijalnim pitanjima bez ugrožavanja gospodarskog rasta i kao takva je postala sinonim za održive luke. Oznaka „zelena luka“ se propisuje lukama koje su provele projekte i inicijative o kvaliteti zraka, klimatskim promjenama i onima koji koriste obnovljivi izvor energije te čista goriva u lučkim aktivnostima (Acciaro, M., 2014).

Međutim, do sada je malo proučeno kako politički, ekonomski i institucionalni uvjeti mogu oblikovati način na koji lučke vlasti sudjeluju u ideji usvajanja tehnologija i mjera zelenih luka. Opsežni pregled zelenih luka pokazao je da znanjem o zelenim lukama dominiraju istraživanja o europskim i sjevernoameričkim lukama (Davarzani, H., 2016.). Ideja o zelenoj luci potječe iz europskog i sjevernoameričkog konteksta. Pionirske luke u Europi, uključujući Bremen (Bremerhaven), Rotterdam i Antwerpen, već su označene ili zamišljene kao zelene luke temeljene na provedbi mjera usmjerenih uglavnom na operacije s niskim udjelom ugljika, poboljšanju kvalitete zraka, energetske učinkovitosti, korištenje obnovljive energije, ekološki prihvatljive mobilnosti u lukama i smanjenje utjecaja na klimatske promjene, koje se smatraju prioritetnim mjerama zelene luke (Puig, M., 2014.). Međutim, ne postoji formalna institucija koja certificira ili dodjeljuje oznaku „zelena luka“ lukama, osim ESPO-ove (engl. European Sea Ports Organisation) mreže EcoPort, koja oznaku „EcoPorts“ dodjeljuje lukama koje su prošle postupak certificiranja njihovih standarda za ocjenu okoliša luka (PERS) ili luke koje su certificirane prema normi ISO 14001. Mnoge luke koje koriste oznaku „zelena luka“ su se samostalno tako prozvale i reklamiraju se u obliku zelene marketinške strategije, koju su znanstvenici smislili na temelju takozvanih prioritetnih indikatora luka održivosti (Chiu, R.-H., 2014.).

Iako se primjerice luka Hamburg smatra zelenom lukom zbog svojih inicijativa u upravljanju energijom i ublažavanju klimatskih promjena, i dalje postoje kontroverzije oko jaružanja rijeke Elbe (Deutsche Welle, 2017.). S druge strane, luke koje su stvorile inovativne pristupe gospodarenju otpadom tako se rijetko smatraju zelenim lukama, čak i kad sudjeluju u globalizacijskoj ideji zelenih luka. Međutim, kako se luke razlikuju po veličini, potražnji za

energijom, zakonodavstvu i ekološkim prioritetima i nalaze se u zemljama na različitim razinama gospodarskog razvoja, možda će biti nemoguće da jedna luka usvoji sve alate ili mjere zelene luke istovremeno. Umjesto kao standardizirana praksa s jasno definiranim skupom tehnologija, zelena luka se bolje razumije kao "putujuća ideja" ili prilično nejasna vizija, s labavim (ali ne i proizvoljnim) skupom različitih praksi i mjera na prijelazu luka prema održivosti. Tako bavljenje idejom zelene luke postaje lokalna praksa koja je ugrađena u određena vremena i mjesta.

Kao što je gore navedeno, postoji više mjera o kojima se raspravljalo pod pojmom zelene luke. Glavni pristupi o kojima se raspravljalo tijekom godina mogu se široko grupirati u tri kategorije:

1. Tehnička infrastruktura;
2. Određivanje cijena i pristup i
3. Integrirani pristupi upravljanju.

Predložena je tehnička infrastruktura koja se bavi određenim problematičnim područjima poput kvalitete zraka, broskog otpada ili energetske učinkovitosti i prijelaza.

2.2.1. Hladno glačanje

Inače poznato i kao kopneno napajanje (OPS), hladno glačanje je kopnena tehnologija koja osigurava priključak struje s obale uglavnom izveden iz obnovljivih izvora poput vjetra, hidro i solarne energije, tako da brodovi mogu isključiti dizel generatore i pomoćne motore dok su usidreni u luci. Njegov je glavni cilj pomoći lučkim vlastima da uklone emisije stakleničkih plinova s brodova u lučkim područjima i pridonijeti smanjenju utjecaja lučkih aktivnosti i brodarstva na klimu (Winnes, H., 2015.).

2.2.2. Infrastruktura za prihvata otpada

Otpad i onečišćenje mora glavni su ekološki problem i kao takvo osiguranje lučkog prihvatnog objekta identificirano je kao mjera zelene luke. Razvoj lučkog postrojenja za prihvata otpada omogućuje lučkim operaterima primanje ili prikupljanje svih oblika broskog otpada,

uključujući miješani otpad, njegov masni mulj i sve druge oblike otpada nastalog na brodu, tako da ne završi u oceanima i morima kao što je to bio slučaj već stoljećima. Također omogućuje lučkim vlastima prikupljanje brodskih otpadnih voda (balastnih voda), tako da ih luke ne ispuštaju izravno u lučke vode s rizikom od unošenja invazivnih vrsta (Puig, M., 2014.).

2.2.3. Rukovanje teretom i prijevoz tereta

Mjere uključuju prebacivanje ili prenamjenu s hibridnih vozila, prikolica, traktora, viličara i dizalica koji koriste dizelska goriva na one koji koriste biogoriva ili se napajaju električnom energijom proizvedenom iz obnovljivih izvora. To također može uključivati pomak prema automatizaciji, sustavima rada i upravljanja lukama bez papira. Lučke vlasti poput Rotterdama postavile su stroge standarde za teretne kamione. U drugim lukama kamioni i vozila moraju ispunjavati ograničenja u odnosu na sumpor u gorivu kako bi se smanjile emisije, a luke koriste održivu logistiku (Notteboom, T., 2018.). Pod ovu kategoriju također spadaju održivije modalne podjele kao jedna od mjera zelene luke. Kako bi se smanjila ovisnost o kamionima za prijevoz robe iz luke u zaleđe i s tim povezanim emisijama i zagušenjima u prometu, mnoge luke, posebno u Europi, idu prema intermodalnim rješenjima koja se temelje na kombinaciji teglenica i kamiona ili željezničkog prometa i kamiona.

2.2.4. Evidencija emisija stakleničkih plinova

Ovaj alat zahtijeva izradu strukturiranog popisa potrošnje energije, goriva i drugih aktivnosti koje proizvode stakleničke plinove. Smatra se da praćenje i vođenje evidencija emisija može pomoći lučkim vlastima da utvrde trendove i područja za daljnja poboljšanja, u obliku energetske učinkovitosti ili poboljšanih lučkih operacija. Međutim Poulsen je primijetio da mnoge luke nisu sklone evidentiranju stakleničkih plinova zbog onoga što nazivaju 'složenošću primjene alata', svjedočeći činjenici da primjena ovih alata zahtijeva posebne vještine. Lučke vlasti trebaju postojeće osnovne podatke, kojih nema u većini luka. Osim toga, identificiranje zemljopisnih granica ili opsega, npr. emisija uzrokovanih izravnim i neizravnim lučkim aktivnostima i određivanje kategorija emisija koje treba pokriti zahtijeva visoko kvalificirano osoblje. Međutim, valja napomenuti da popis emisija stakleničkih plinova sam po

sebi ne smanjuje utjecaje na okoliš, već je samo sredstvo za razvijanje mjera smanjenja i praćenje njihovih učinaka i može se koristiti uglavnom kao sredstvo u potpori političkim zahtjevima lučkih uprava (Poulsen, R.T., 2018.).

2.2.5. Okolišni indeks broda (ESI)

To je tržišni alat koji su izvorno dizajnirale lučke vlasti u takozvanoj mreži 'Svjetska lučka klimatska inicijativa', uključujući luke Le Havre, Antwerpen, Rotterdam, Bremerhaven i Hamburg kako bi pomogao poboljšati ekološku učinkovitost brodova koji posjećuju luke. ESI (engl. Environmental Ship Index) je mrežni alat koji zahtjeva od luka da ulože svoje poticaje u brodove s nižim emisijama ispušnih plinova, a vlasnike brodova pitaju za svoje prihode od goriva. Tvrdi se da bi ovo moglo pomoći lukama i brodovima da smanje emisije stakleničkih plinova (Lister, J., 2015.).

2.2.6. Ugovori o koncesiji

Ovdje je ekološka održivost uvjet za davanje koncesija tvrtkama koje žele raditi u luci. Ugovor o koncesiji kao alat može se koristiti za rješavanje različitih pitanja, od otpada i energije do smanjenja emisija. Notteboom i Lam smatraju da kada lučke vlasti nametnu, na primjer, ograničenje emisije CO₂ tijekom ugovora o najmu terminala, to može potaknuti operatore terminala da prihvate inovacije i ispune okolišne ciljeve lučke uprave (Notteboom, T., 2018.).

2.2.7. Lučke pristojbe

Kako brodovi, kamioni i prijevoznici plaćaju nekoliko naknada za korištenje lučke infrastrukture. Lučke pristojbe podrazumijevaju i upotrebu poticaja i kaznenih mjera za promicanje zaštite okoliša slijedeći načelo onečišćivač plaća. Održivost se koristi kao uvjet za dobivanje pristupa određenim uslugama ili određivanje naknada za plaćanje korištenjem lučke infrastrukture ili usluge. Lučke vlasti izdaju dodatne naknade za pristajanje i novčane kazne za izlivanje nafte i otpada. Cilj ovog alata je stoga olakšati očuvanje, zaštitu, učinkovito

korištenje resursa i promovirati održivost koristeći poticaje ili kaznene mjere u obliku pristojbi ili lučkih naknada (De Borger, B., 2008.).

3. Sateliti

Dobro je poznato da je svemirska tehnologija pomogla astronautima i znanstvenicima u istraživanju svemira i planeta, no koliko zapravo je to povezano sa svakidašnjom tehnologijom koju koristi jedna prosječna osoba na Zemlji? Od pametnih telefona do televizija i kamera, svemirska tehnologija je imala velik utjecaj na razvoj svih danas dobro poznatih električnih uređaja. Riječ je o informacijskim i komunikacijskim tehnologijama. To je djelatnost i oprema koja čini tehničku osnovu za sustavno prikupljanje, pohranjivanje, obradbu, širenje i razmjenu informacija različitih oblika, tj. znakova, teksta, zvuka i slike. Izdvajanjem ove djelatnosti možemo uvidjeti njen utjecaj na današnju tehnologiju ako detaljnije razmotrimo podjelu na sljedeće skupine (Leksikografski zavod Misolav Krleža., 2000.):

- **Internet stvari i web tehnologije (Iot & embedded web technology)** koje su primarno izumljene za nadgledanje eksperimenata ISS (engl. International Space Station) daljinskim putem, a kasnije su objavljene u javnoj domeni i omogućili su napredne tehnike povezivanja elektroničkih uređaja.
- **Daljinsko istraživanje (remote sensing)** je tehnologija koja se danas koristi i u pametnim telefonima i kamerama te je prvotna namjena bila za istraživanje svemira. Danas u tu domenu pripadaju napredni senzori za daljinska istraživanja.
- **GNSS** je tehnologija koja omogućuje navigaciju i određivanje pozicije bilo gdje u svijetu. Primarno je razvijena za potrebe vojske te je danas to tehnologija koja je ugrađena u većini uređaja koje ljudi posjeduju.
- **Komunikacijske mreže i Internet (communication and internet)** funkcioniraju zahvaljujući satelitima koji kruže u našoj orbiti te šalju i primaju podatke i signale na različite uređaje. Bez njih ne bi mogli gledati TV, slušati radio ili komunicirati međusobno diljem planete.
- **Senzori za nadzor (monitoring sensors)** – NASA je istražujući kako osigurati svoje letjelice počela predviđati kvarove na njima na temelju vibracija te je ta ista tehnologija danas korištena na vlakovima i željeznicama ali i drugim prijevoznim sredstvima kako bi se otkrili njihovi nedostaci i kvarovi.

Sve prethodno navedene stavke ne bi bile moguće bez satelitske tehnologije. Prvi satelit koji je lansiran u svemir bio je Sputnik 1957-te godine te danas imamo na tisuće satelita koji su lansirani u Zemljinu orbitu. Krajem 2000-te godine broj satelita je iznosio brojčano oko 6 000 od čega je manje od polovice bilo potpuno operativno. Trećina satelita je namijenjena za komunikacijske svrhe, 450 satelita je namijenjeno za opažanje Zemlje, a 100-tinjak služi za navigaciju i pozicioniranje. Očekuje se da će se do 2028. godine prosječno lansirati 990 satelita svake godine za razne primjene. Njihove primjene su sveobuhvatne od navigacije, komunikacije, vojne svrhe, opažanja zemlje, meteoroloških prognoza, urbanog planiranja, kartiranja zemljine površine, praćenja klime, i drugo (Croatia Webinar Series, 2021.).

3.1. Daljinsko istraživanje

Za daljinsko istraživanje (engl. remote sensing) postoji više različitih definicija koje se navode radi boljeg upoznavanja sa tom vrstom tehnologije. Definiramo ga na sljedeći način (James B. Campbell and Randolph H. Wynne, 2011.):

- Daljinsko istraživanje je u osnovi umijeće ili znanost da se opisuje predmet, bez dodirivanja. (Fischer i sur., 1976., str. 34)
- Daljinsko istraživanje praksa je izvlačenja podataka o Zemljinu površini pomoću slika dobivenih pomoću elektromagnetskog zračenja u jednom ili više područja elektromagnetskog spektra, reflektiranih ili emitiranih sa Zemljine površine.

Korištenje ovog pristupa pri uporabi satelita dogodio se kada je lansiran prvi meteorološki satelit (TIROS-1) u travnju 1960. godine. Ovaj je satelit dizajniran za klimatološka i meteorološka promatranja, ali je pružao osnovu za kasniji razvoj kopnenih promatračkih satelita. U tom razdoblju su neki od instrumenata daljinskog istraživanja, koji su izvorno razvijeni za vojne svrhe, bili dostupni građanstvu na uporabu. Ti su instrumenti proširili doseg promatranja iz zraka izvan vidljivog spektra u infracrveno i mikrovalno područje.

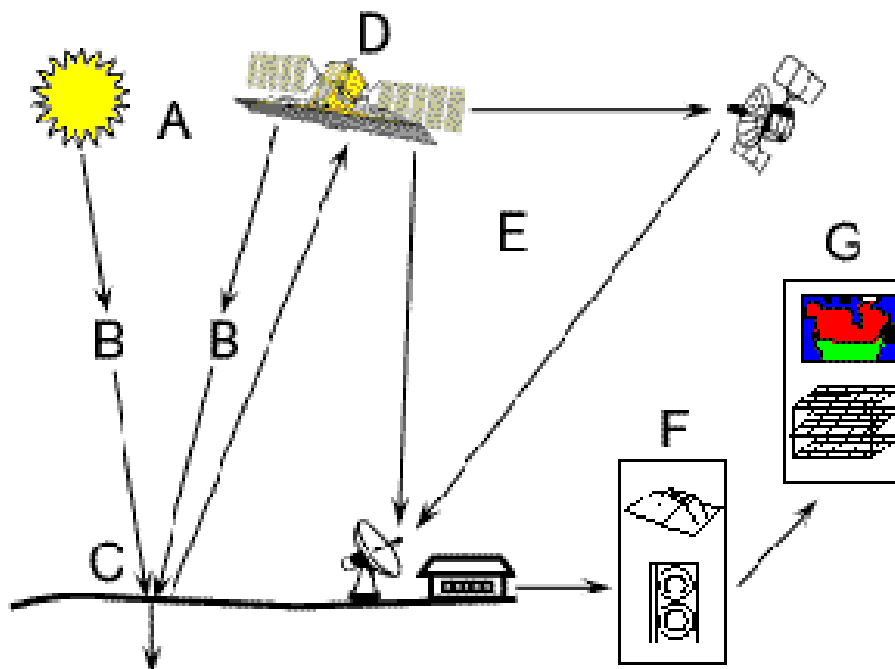
Ranih 1960. godina, Američka nacionalna uprava za aeronautiku i svemir (NASA) je osnovala istraživački program daljinskog istraživanja, program koji je, tijekom sljedećeg desetljeća, trebao podržati daljinsko istraživanje u institucijama diljem Sjedinjenih Američkih Država. Sukladno s time, odbor američke Nacionalne akademije znanosti (NAS) je također proučavao mogućnosti primjene daljinskog istraživanja u poljoprivredi i šumarstvu. Godine 1972. lansiran je 'Landsat 1' što ujedno označava još jednu prekretnicu. 'Landsat 1' je prvi od mnogih satelita koji orbitiraju oko Zemlje i promatraju kopnena područja Zemlje. Do 1990.

godine satelitski sustavi bili su dizajnirani posebno za prikupljanje daljinskih podataka koji predstavljaju cijelu Zemlju.

Tijekom prvog desetljeća 21. stoljeća započela je moć interneta utjecati na javni pristup slikama sa daljinskim opažanjem. Iz toga je proizašao Google Earth, objavljen 2005. godine, koji daje virtualni prikaz Zemljine površine kao kompozit različitih digitalnih slika dizajniran za komunikaciju sa široko definiranom publikom i javnošću bez posebne vrste znanja koja je prethodno bila pretpostavljeni preduvjet za uporabu slika daljinskog istraživanja. Dok se velik dio prethodne povijesti daljinskog istraživanja može smatrati radom stručnjaka na proizvodnji specijaliziranih proizvoda za uporabu drugih znanstvenika, ovi su se pomoci temeljili na dizajniranju proizvoda za širu javnost.

3.1.1. Proces dohvaćanja podataka putem daljinskog istraživanja

U većini daljinskih istraživanja, postupak uključuje odabir alata ovisno o karakteristikama zračenja površine i ciljevima istraživanja. To je ilustrirano na slici 4 uporabom slikovnih sustava gdje je uključeno sljedećih sedam elemenata (NRCAN, 2015.).



Slika 4. Proces daljinskog istraživanja (NRCAN, 2015.).

- A. **Izvor energije ili osvjetljenje** - prvi uvjet za daljinsko očitavanje je imati izvor energije koji osvjetljava ili pruža elektromagnetsku energiju do ciljanog cilja.
- B. **Zračenje i atmosfera** - dok energija putuje od svog izvora do cilja, ona će doći u kontakt i atmosferu kroz koju prolazi. Ova interakcija može se dogoditi drugi put dok energija putuje od cilja do senzora.
- C. **Interakcija s ciljem** - kada se energija probije do cilja kroz atmosferu, ona stupa u interakciju s ciljem, ovisno o svojstvima cilja i zračenja.
- D. **Snimanje energije senzorom** - nakon što se energija rasprši ili emitira iz cilja, potreban nam je senzor (daljinski - koji nije u kontaktu s ciljem) za prikupljanje i bilježenje elektromagnetskog zračenja.
- E. **Prijenos, prijam i obrada** - energija koju bilježi senzor mora se prenositi, često u elektroničkom obliku, do stanice za primanje i obradu gdje se podaci obrađuju u sliku (tiskanu i / ili digitalnu).
- F. **Interpretacija i analiza** - obrađena slika interpretira se, vizualno i / ili digitalno ili elektronički, kako bi se izvukle informacije o cilju koji je bio osvjetljen.
- G. **Primjena** - završni element postupka daljinskog otkrivanja postiže se kada primijenimo podatke koje smo uspjeli izvući iz slika o cilju kako bismo ih bolje razumjeli, otkrili neke nove informacije ili pomogli u rješavanju određenih problema.

3.1.2. Prednosti

Prednosti daljinskog istraživanja možemo svesti u 3 glavne kategorije (NASA video, 2019.):

1. **Sinoptička pokrivenost (synoptic coverage)** – satelitske slike mogu uhvatiti podatke s velikih površina koje je inače nemoguće dobiti bez ovakve tehnologije.
2. **Vremenska frekvencija (temporal frequency)** – omogućuje dobivanje slika dinamičkih objekata, primjerice oceana, mora i njegovih prirodnih procesa. Sateliti su potrebni jer kruže oko zemlje te time dobivamo podatke različitih vremena ali dobivenih sa istog mjesta.
3. **Promatranja (observations)** – sateliti omogućavaju dohvaćanje slika i informacija sa mjesta zemljine površine do kojih je teško doći bilo kojim prijevoznim sredstvom.

3.1.3. Nedostaci

Kod nedostataka, glavna stavka je ta da je ova tehnologija poprilično skupa metoda analize, posebno kada se mjere ili analiziraju manja područja. Nadalje, uvijek postoji mogućnost ljudske pogreške zbog toga što ljudi sami odabiru senzore za prikupljanje podataka, određuju razlučivost podataka i kalibraciju senzora, odabiru platformu koja će nositi senzor i određuju kada će podaci biti prikupljeni. Ponekad različiti fenomeni koji se analiziraju mogu izgledati jednako tijekom mjerenja što može dovesti do pogreške u klasifikaciji, strojnom učenju. Zaključno, iz ovih nedostataka možemo zaključiti da je kod ove metode analize potrebno imatiiskusne stručnjake s kojima bi se umanjili mogući nedostaci u radu istraživanja (NASA video, 2019.).

3.1.4. Razlučivost slika

Razlučivost rasterskih podataka s daljinskim istraživanjem može se okarakterizirati na nekoliko različitih načina. Postoje četiri primarne vrste "razlučivosti" za satelitske slike:

a) Prostorna rezolucija (engl. spatial resolution)

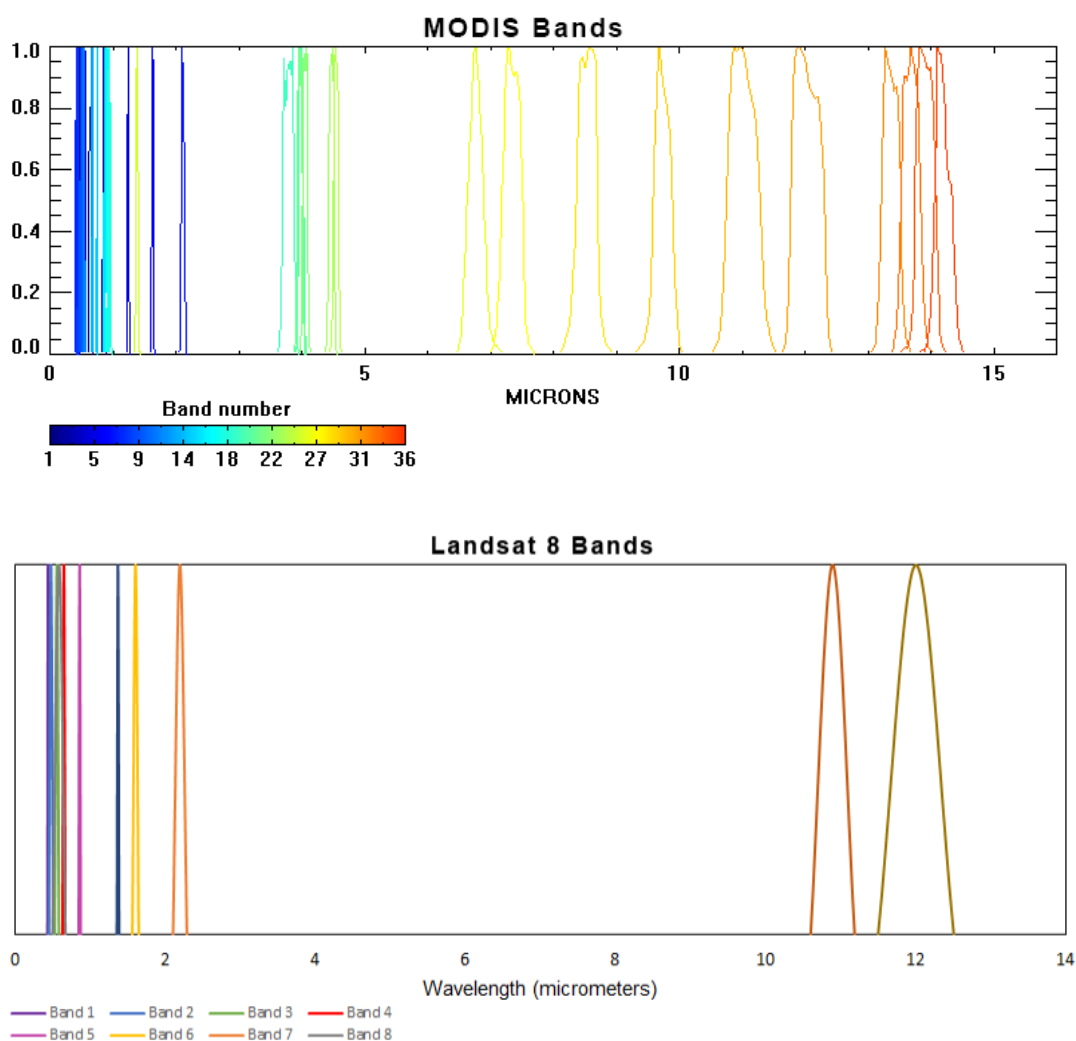
Prostorna razlučivost vrsta je rezolucije koju većina ljudi poznaje (slika 5). Prostorna razlučivost obično se navodi kao duljina jedne strane jednog piksela. Što je veća razlučivost slike, to je skuplje snimanje, obrada i distribucija. Kako se prostorna razlučivost povećava, veličina rastera raste povećanjem kvadrata razlučivosti. To prostornu rezoluciju čini kritičnom za kontrolu jer nam je potrebna dovoljna razlučivost da bismo vidjeli što nas zanima na terenu, ali ne toliko da ne možemo učinkovito obraditi podatke. To znači da satelit koji snima dnevne slike općenito ima grublju (veću) prostornu razlučivost.



Slika 5. Prostorna rezolucija (Earth Observing System, 2019.).

b) Spektralna razlučivost (engl. spectral resolution)

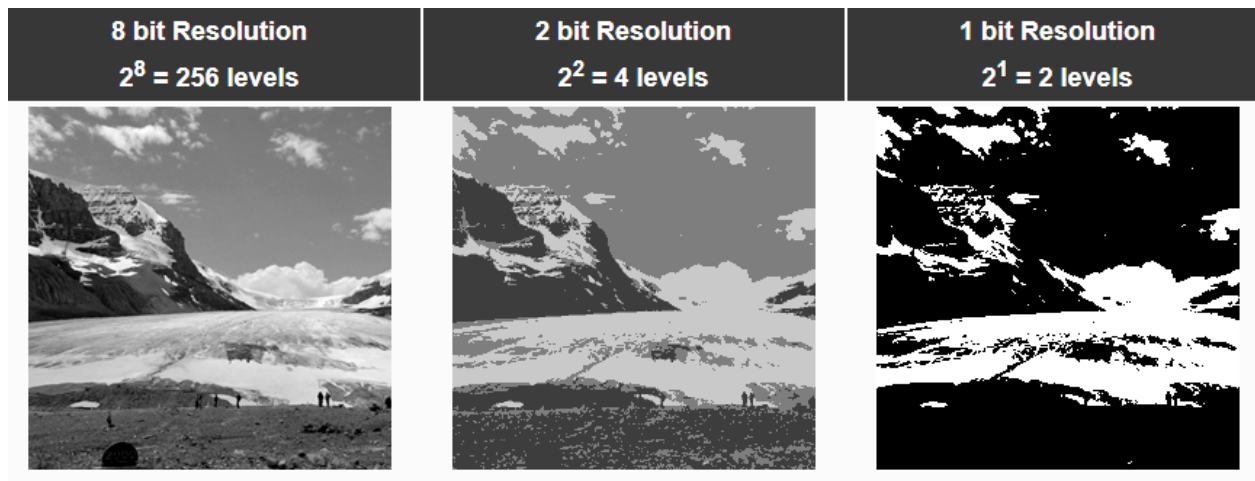
Spektralna razlučivost odnosi se na broj spektralnih "opsega" koje instrument bilježi. Spektralna razlučivost također definira koliko je "širok" svaki pojas ili raspon valnih duljina koje pokriva jedan pojas (slika 6). Crno-bijele fotografije sadrže samo jedan pojas koji pokriva vidljive valne duljine, slike u boji (RGB) sadrže tri pojasa, a satelit kao što je 'Landsat 8' obuhvaća jedanaest pojaseva te spada u kategoriju multispektralnih pojaseva. Za usporedbu, satelit i mjerni instrument za mjerenje elektromagnetskih zraka 'MODIS' (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) ima veću spektralnu rezoluciju od 'Landsata 8' jer ima 36 relativno uskih pojasa koji pokrivaju valne duljine od 0,4 do 14 mikrometara što ujedno spada u kategoriju hiperspektralnih pojaseva. S druge strane, 'Landsat 8' ima ukupno 11 pojasa koji pokrivaju manje valne duljine i svaki je pojas širi u smislu valne duljine.



Slika 6. Usporedba spektralne razlučivosti dva satelita (Earth Observing System, 2019.).

c) Radiometrijska rezolucija (engl. radiometric resolution)

Radiometrijska razlučivost pokazuje koliko dobro satelit ili senzor razlikuje zračenje koje prima u svom opsegu. Što je veća radiometrijska razlučivost to je senzor u stanju u kojem može razlikovati i bilježiti veći raspon vrijednosti intenziteta zračenja (slika 7). Radiometrijska razlučivost obično se izražava kao broj bitova za svaki opseg.



Slika 7. Usporedba radiometrijske rezolucije (Earth Observing System, 2019.).

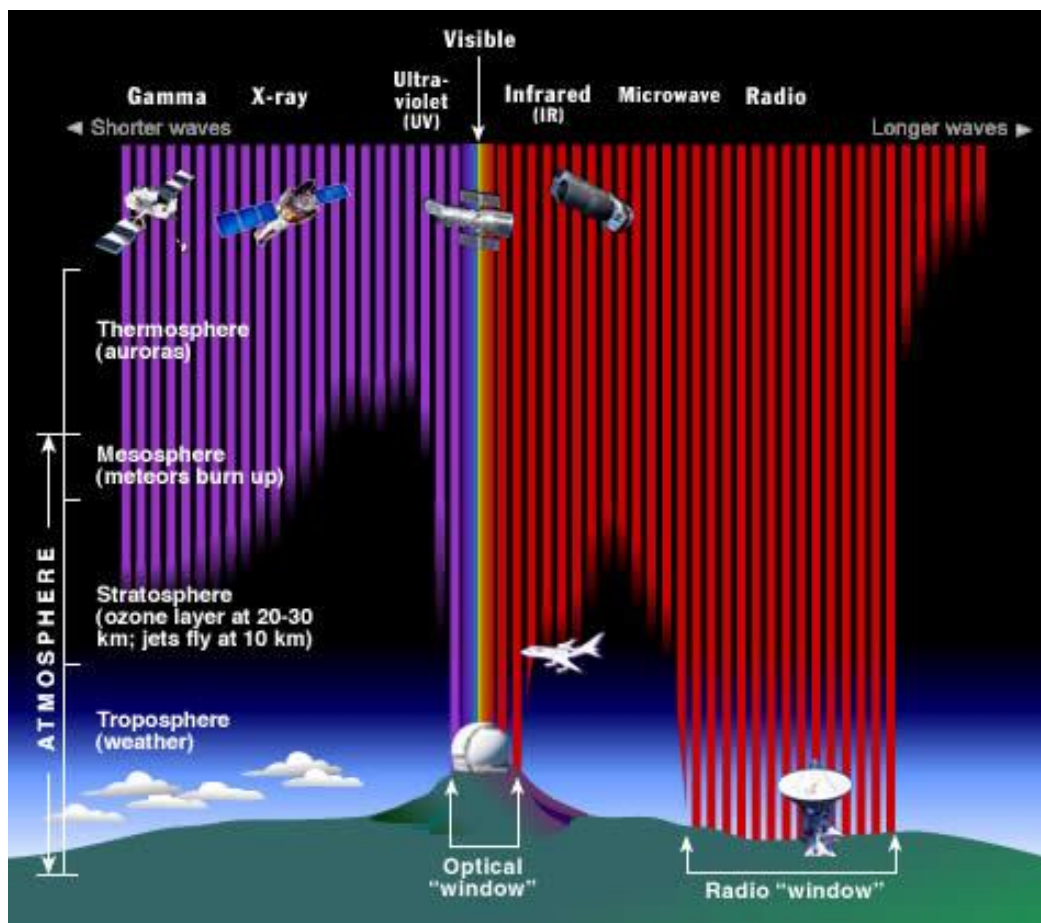
d) Vremenska rezolucija (engl. temporal resolution)

Vremenska rezolucija je vrijeme između dva naknadna prikupljanja podataka za neko područje. To je također poznato kao "vrijeme povrata" ili "vrijeme ponovnog posjeta".

Gotovo je nemoguće dobiti slike koje imaju visoku prostornu, spektralnu, radiometrijsku i vremensku rezoluciju. To je poznato kao razlučivi kompromis, jer je teško i skupo dobiti slike izuzetno visoke razlučivosti. Stoga je potrebno utvrditi koje su vrste razlučivosti najvažnije za projekt.

3.2. Elektromagnetsko zračenje

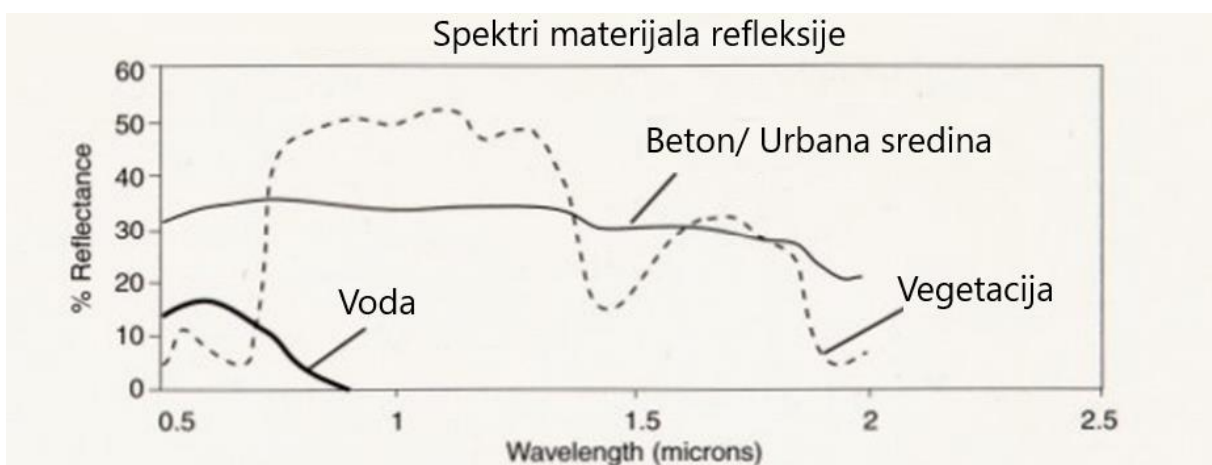
Glavna stavka daljinskog istraživanja je analiziranje pojaseva satelitskih fotografija. Kao što je prethodno spomenuto, satelitske slike posjeduju spektralnu razlučivost što je ujedno pokazatelj prisutnosti elektromagnetskog zračenja. Elektromagnetski (EM) spektar je opseg svih vrsta EM zračenja te je to energija koja putuje i širi se u hodu. Temeljna osnova za većinu metoda daljinskog istraživanja je mjerenje različitih razina energije jednog entiteta, osnovne jedinice u elektromagnetskom spektru zvane foton. Sateliti prilikom prikupljanja informacija putem senzora mogu dohvatiti širok spektar zračenja koji je vidljiv u priloženoj slici (slika 8). Iako Zemljina atmosfera zaustavlja većinu vrsta elektromagnetskog zračenja iz svemira, na ovoj ilustraciji prikazano je koliko daleko u atmosferu mogu doseći različiti dijelovi elektromagnetskog spektra prije nego što se apsorbiraju (NASA - Goddard Space Flight Center, Imagine the Universe, 2013.).



Slika 8. Elektromagnetski spektar (NASA - Goddard Space Flight Center, Imagine the Universe, 2013.).

3.2.1. Očuvanje energije

Nadalje, važno je razumjeti pojam očuvanja energije. Naime, energija zračenja ne može tek tako nestati u interakciji s materijom, već se mora uzimati u obzir da jedan oblik energije može prelaziti u druge oblike, a da se pri tom energija niti stvara niti poništava. Različiti materijali i površine upijaju i reflektiraju energiju na različite načine, ali budući da se energija održava, možemo proučavati razlike između tih materijala na temelju onoga što se može izmjeriti pomoću satelitskog daljinskog istraživanja.



Slika 9. Spektri materijala refleksije (Christine M. Lee, 2014.).

Slika 9 pokazuje odgovarajuće spektre za materijale od vidljivog do srednjeg infracrvenog područja elektromagnetskog spektra. Mjernim instrumentom 'Spektrofotometrom' se dobivaju rezultati kod kojih su prikazani spektralni potpisi za svaku površinu. Sada kada znamo da mjerenje zračenja striktno ovisi o svojstvima površina možemo doći do sljedećih zaključaka. Primjerice, kopnene površine će emitirati različite valne duljine elektromagnetske energije na temelju njihovih svojstava materijala koja se mogu promatrati pomoću satelitskog daljinskog istraživanja, dok će kod vode biti puno teže promatranje radi njenog prozirnog svojstva zbog kojeg će dio fotona biti apsorbiran i raspršen, a samo dio reflektiran. Također, voda je tamnija nego tlo te zbog toga jače apsorbira svjetlost pa su satelitski pojasevi limitirani na vidljivi spektar (Christine M. Lee, 2014.).

3.3. Sateliti za opažanje Zemlje

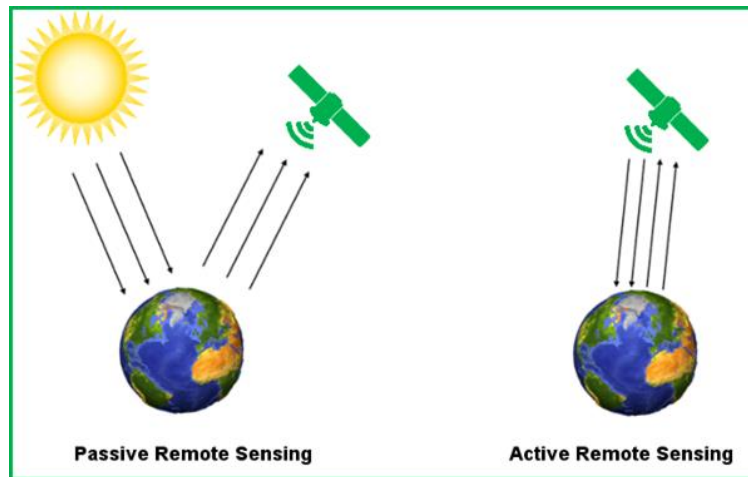
Sateliti koji su namijenjeni opažanju Zemlje funkcioniraju na način da prikupljaju informacije o fizikalnim, kemijskim i biološkim sustavima Zemlje te se takve informacije koriste za praćenje i procjenu stanja okoliša. Oni pružaju pouzdane podatke te je primjena sveobuhvatna uključujući poljoprivredu, more, šumarstvo. Podaci se mogu prikupljati u atmosferi (oblaci, aerosoli, plinovi) ili na zemljinoj površini (snijeg, led, tlo, voda). Osnovna tehnologija koja omogućuje satelitima ovakvo pouzdano opažanje su senzori. Senzori koje koriste sateliti spadaju u kategoriju vizualizacijskih senzora. Senzore, skupa sa satelitima za opažanje Zemlje možemo podijeliti na dvije skupine (slika 10.) :

- **Pasivni sateliti (optički senzori)**

Pasivni sateliti funkcioniraju putem pasivnih senzora koji otkrivaju reflektirano elektromagnetsko zračenje iz izvora kao što je Sunce. Oni uključuju radiometre, uređaje koji se koriste za mjerenje elektromagnetskog zračenja i spektrometre, optičke instrumente koji se koriste za gledanje spektralnih linija i mjerenje njihove valne duljine i intenziteta. U pasivne senzore pripada i filmska fotografija te infracrveni uređaji uparenih naboja. Ti sateliti rade u vidljivom, infracrvenom, termalnom infracrvenom i mikrovalnom segmentu elektromagnetskog spektra.

- **Aktivni sateliti (radarski senzori)**

Aktivni sateliti funkcioniraju putem aktivnih senzora koji emitiraju puls energije te otkrivaju reflektiranu energiju pasivnim sensorima. Rendgenski aparat je primjer aktivnog senzora. Rendgenski uređaj šalje energiju u ljudsko tijelo i mjeri ono što se reflektira natrag na senzor nepropusnim strukturama do te valne duljine, poput kostiju. Aktivni sateliti djeluju prvenstveno u mikrovalnom dijelu elektromagnetskog spektra, što mu omogućuje prodiranje u većinu atmosferskih uvjeta, poput pokrivanja kao što su oblaci (Katherine E. Berry, 2020.).



Slika 10. Razlika pasivnog i aktivnog daljinskog istraživanja (Grindgis, 2015.).

3.3.1. Promatranje kvalitete vode

Kao što je prethodno spomenuto, putem daljinskih istraživanja možemo analizirati tri svojstva: fizikalna, kemijska i biološka. Ta ista svojstva vrijede za svaki materijal na površini Zemlje te specifično za vodu se analiziraju sljedeće stavke:

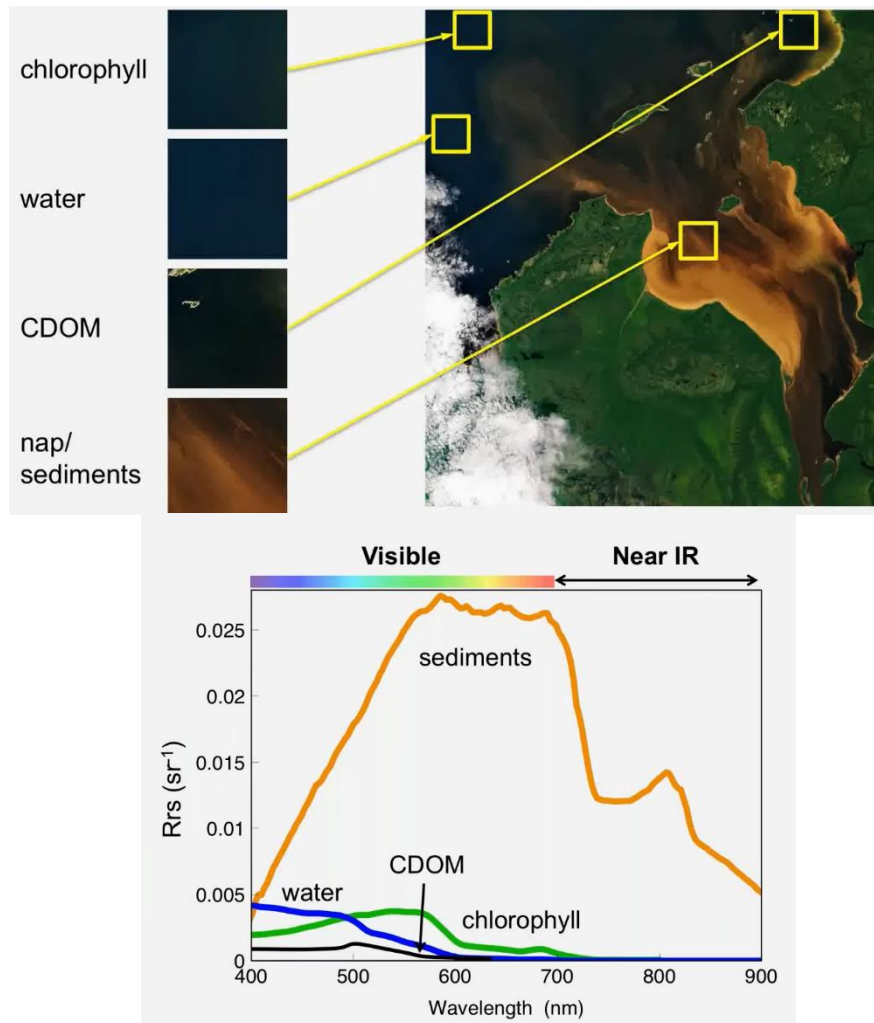
- **Fizikalna svojstva:** obojena otopljena organska tvar (CDOM – 'colored, dissolved organic matter'), temperatura, gustoća, toplinski kapacitet, zamućenost, sedimenti, slabljenje svjetlosti (light attenuation).
- **Kemijska svojstva:** salinitet, otopljeni kisik, tvrdoća, pH vrijednost
- **Biološka svojstva:** cvjetanje algi, mikroorganizmi, primarna produktivnost

Satelitsko daljinsko mjerenje mjeri elektromagnetsko zračenje - u osnovi odbijeno zračenje od zemljine površine. Konstituenti koji znatno mijenjaju toplinska ili optička svojstva vodenog tijela mogu se otkriti pomoću satelitskog daljinskog istraživanja (slika 11).

Konstituenti su sljedeći:

- Alge
- Sedimenti
- CDOM (obojena otopljena organska tvar)
- Ulja, nafte
- Vegetacija

- Temperatura



Slika 11. Prikaz parametara za kvalitetu vode (NASA ARSET, 2020.).

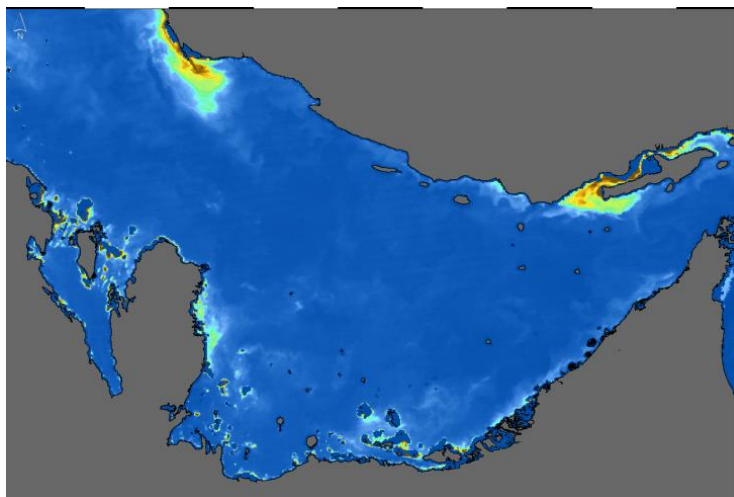
Mnoge kemikalije i patogeni ne utječu izravno niti mijenjaju spektralna ili toplinska svojstva površinskih voda. To se može neizravno zaključiti samo iz mjerenja ostalih parametara kakvoće vode (parametri za analizu sedimenta ili zamućenosti, za analizu klorofila, za analizu bistrine vode, za analizu cvjetanja algi, za analizu temperature vodenih površina) (NASA ARSET, 2020.).

3.3.2. Parametri za nadzor kakvoće vode

Praćenje kakvoće vode ključno je za karakterizaciju voda i prepoznavanje njihove promjene tijekom nekog vremena ili da bi se moglo odgovoriti na nove probleme s kakvoćom vode. Problemi poput identificiranja taloga sedimenta, štetnog cvjetanja algi i crvenih plima je važno za uočiti da bi ih se moglo suzbiti na vrijeme. Satelitsko daljinsko istraživanje prepoznato je kao pouzdana i isplativa tehnika za opis i kvantificiranje aspekata kakvoće morske vode (DHI Gras solution, Water quality monitoring from space, 2000.).

- **Analiza sedimenata ili zamućenosti (TSS - total suspended solids)**

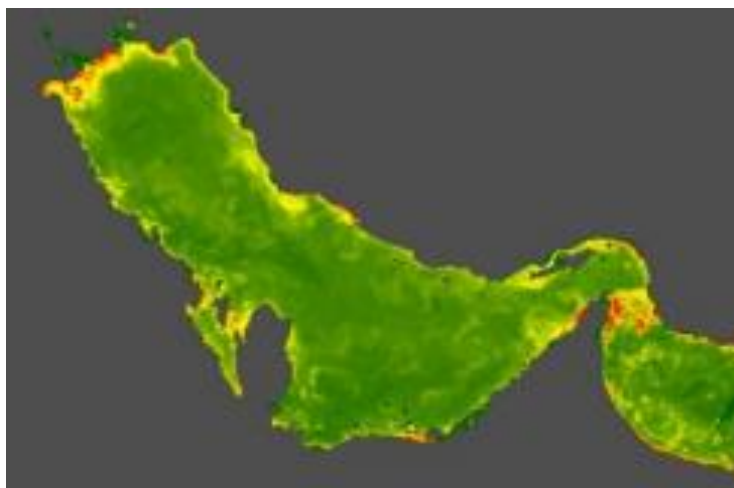
Osnovni koncept se odnosi na daljinski osjetljivu refleksiju koja je izmjerena u raznim dijelovima elektromagnetskog spektra zbog čega dolaze podaci sa koncentracijom čestica sedimenta (slika 12). Ovaj pristup se pokazao robusnim u obalnim i kopnenim vodama.



Slika 12. Prikaz filtera analize sedimenata u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).

- **Analiza klorofila**

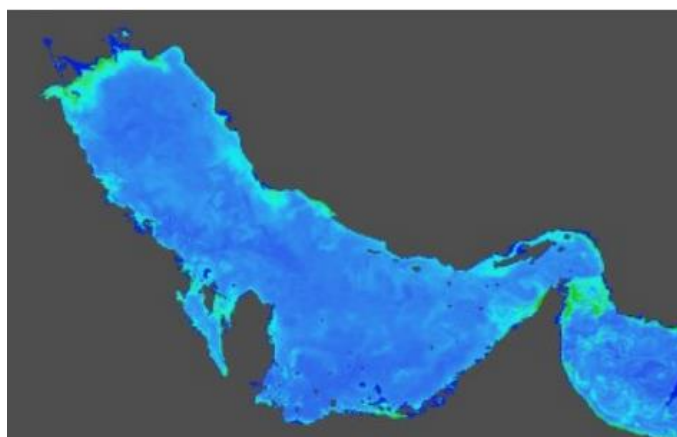
Ova analiza nudi procjene biomase fitoplanktona u površinskom sloju vodenog tijela i služi kao mjera koncentracije (slika 13). Ona je učinkovita za praćenje stanja vodenih površina i ilustrira prostorne raznolikosti i raspodjelu fitoplanktona i biomase općenito za gornji površinski sloj mora.



Slika 13. Prikaz filtera analize klorofila u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).

- **Analiza bistrine vode - koeficijent difuznog prigušenja**

Koeficijent difuznog prigušenja u vodi pokazuje koliki je intenzitet svjetla na određenoj valnoj duljini (490nm), to jest, koliko je prigušen vodeni stupac u moru. Koeficijent je pokazatelj prodiranja vidljive svjetlost kroz vodeni stupac (taj se fenomen vidi u plavozelenom dijelu slike 14). To je izravno povezano s prisutnošću raspršenih čestica u vodenom stupcu i dubinom eufotične zone mora.

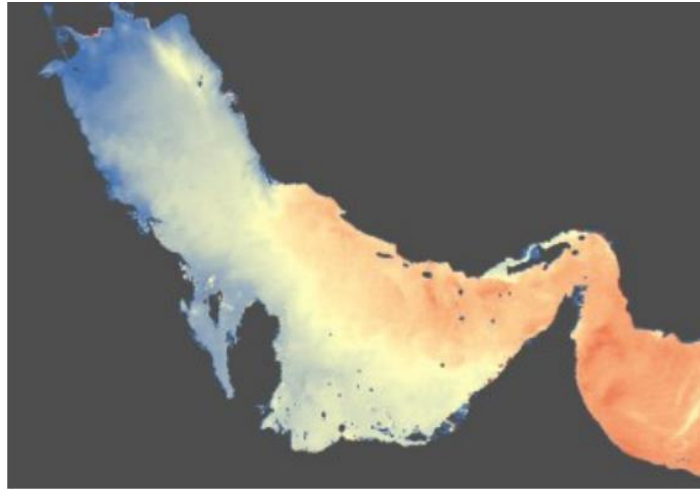


Slika 14. Prikaz filtera koeficijenta difuznog prigušenja u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).

- **Analiza temperature morske površine**

S termalnim infracrvenim sensorima je moguće vrlo precizno izmjeriti temperaturu površine mora (slika 15). Senzor satelita registrira signal koji dolazi od površinskog sloja mora

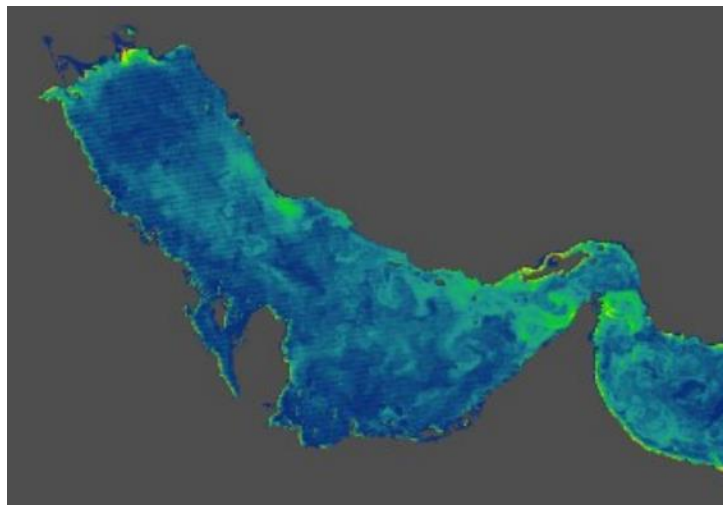
te se kalibrira na dohvaćanje signala oko 1 metar dubine radi osiguravanja glavne temperature vodenog tijela.



Slika 15. Prikaz filtera analize temperature morske površine u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).

- **Analiza cvjetanja algi - Visina fluorescentne linije (FLH)**

Visina fluorescentne linije (FLH) je pokazatelj količine zračenja ostavljajući površinu mora u područjima gdje klorofil ima najviše emisija fluorescencije (slika 16). FLH je stoga koristan parametar za identifikaciju područja s visokom koncentracijom klorofila, a često je povezan sa otkrivanjem fenomena štetnog cvjetanja algi i crvenom plimom. Cvjetanje algi može oštetiti filtre u biljkama koje je vrlo skupo zamijeniti te može dovesti do poremećenog rada morske flore. Pomoću ovog parametara mogu se suzbiti na vrijeme štetni utjecaji na okoliš.



Slika 16. Prikaz filtera analize cvjetanja algi u Perzijskom zaljevu (DHI Gras solution, 2000.).

3.3.3. Primjeri analiza vodenih površina

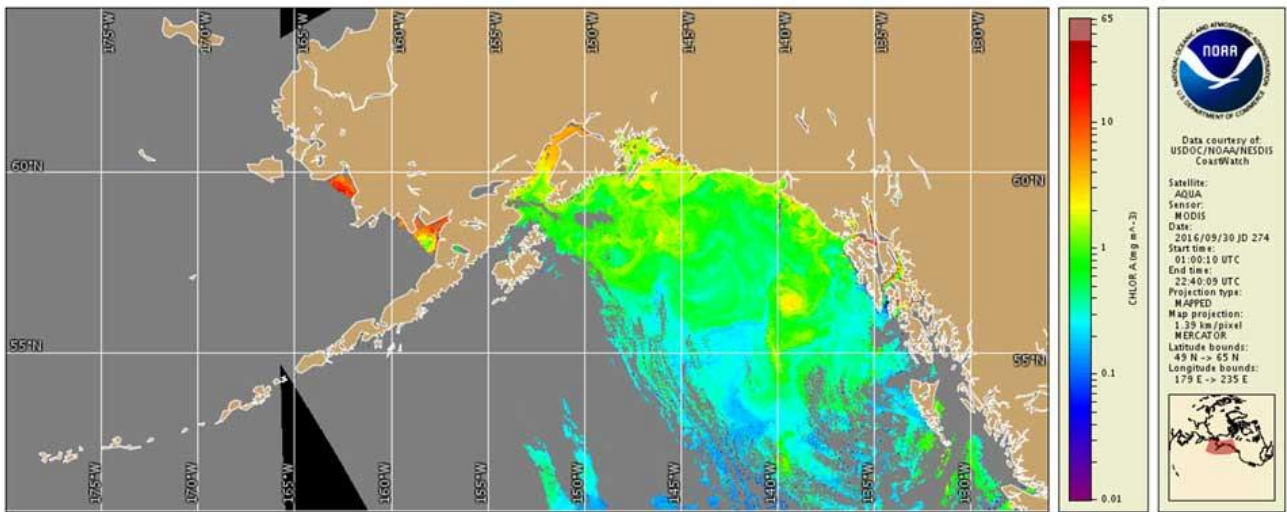
Informacije koje prikupljaju sateliti govore o oceanskoj batimetriji, temperaturi morske površine, boji oceana, koraljnim grebenima te morskom i jezerskom ledu. Znanstvenici se također koriste sustavima za prikupljanje podataka na satelitima za prenošenje signala s odašiljača na Zemlji istraživačima na terenu - koji se koriste u aplikacijama poput mjerenja visine oseke i migracije kitova. Odašiljači na satelitima također prenose informacije o položaju sa svjetionika za nuždu kako bi spasili živote kad su ljudi u nevolji na brodovima, avionima ili u udaljenim područjima. U nastavku je prikazano nekoliko načina za prikupljanje podataka o oceanu (NASA video, 2019.).

- **Temperature morske površine**

Poznavanje temperature morske površine može znanstvenicima puno toga reći o tome što se događa u oceanu i oko njega. Promjene temperature utječu na ponašanje riba, mogu uzrokovati izbjeljivanje koralja i utjecati na vrijeme duž obale. Satelitske slike temperature površina mora također pokazuju obrasce cirkulacije vode. Primjeri uključuju mjesta uzdizanja, karakterizirana hladnim vodama koje se podižu iz dubina, često u blizini obala i tople vodene tokove, poput Golfske struje.

- **Boja morske površine**

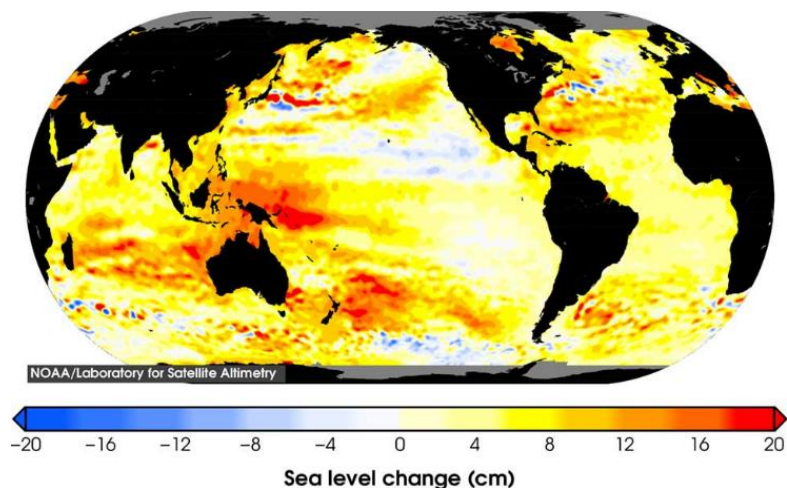
Sateliti također pružaju informacije o boji oceana (slika 17). Na primjer, podaci o boji pomažu istraživačima da utvrde utjecaj poplava duž obale, otkriju riječne perjanice i lociraju cvjetove štetnih algi koje mogu kontaminirati školjke te ugroziti druge ribe i morske sisavce. Podaci oceanskih boja sa satelita omogućuju nam ne samo da utvrdimo gdje se cvjetanje algi stvara, već i da predvidimo gdje bi se to moglo događati u budućnosti.



Slika 17. Analiza boje oceana u Aljaškom zaljevu (NASA video, 2019.).

- **Promjena razine mora**

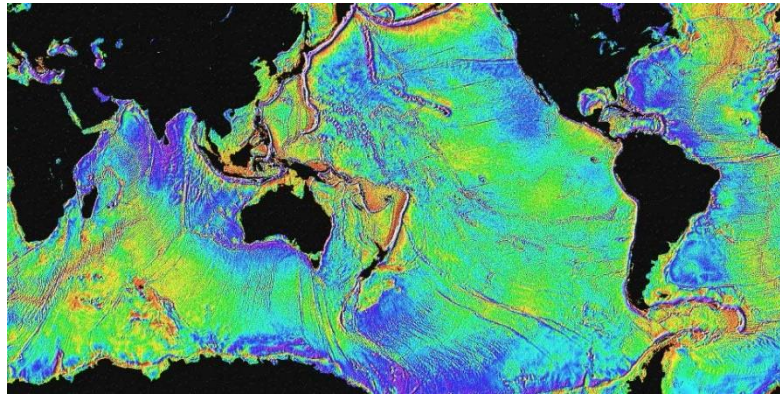
Jedan od najznačajnijih potencijalnih utjecaja klimatskih promjena je porast razine mora, koji može uzrokovati poplavu obalnih područja i otoka, eroziju obale i uništavanje važnih ekosustava poput močvara. Mjerenje dugoročnih promjena globalne srednje razine mora pruža način za testiranje predviđanja klimatskih modela o globalnom zatopljenju (slika 18).



Slika 18. Analiza promjene razine oceana u svijetu (NASA video, 2019.).

- **Mapiranje**

Površina oceana ispučuje se prema van i prema unutra, oponašajući topografiju oceanskog dna. Neravnine koje su premale da bi se mogle vidjeti mogu se mjeriti pomoću radarskog visinomjera na satelitu. Satelitske slike mogu se koristiti i za mapiranje značajki u vodi, poput koraljnih grebena (slika 19). Unatoč svojoj relativnoj novosti i geološkoj jednostavnosti, većina ovog dubokog morskog dna ostala je slabo razumljiva jer ga ocean maskira. Do danas su brodovi zacrtali samo mali dio morskog dna. Zahvaljujući gravitaciji, površina oceana ima široke neravnine koje oponašaju topografiju oceanskog dna. Te se neravnine i padovi mogu mapirati pomoću vrlo preciznog radarskog visinomjera postavljenog na satelitu.



Slika 19. Mapiranje koraljnih grebena na području Indijskog i Tihog oceana (NASA video, 2019.).

4. Analiza podataka

Za praktični dio procesiranja digitalnih satelitskih slika potrebni su i specifični alati i metode. U ovome poglavlju definirati će se kako i na koji način sam se koristila alatima kao što je internetska stranica Sentinel-hub, postavljanje filtera za sedimente i klorofil, te postavljanje NDWI filtera programiranjem u programskom jeziku Python s ciljem dobivanja korisnih rezultata za daljnju analizu kvalitete mora.

Bitno je napomenuti kako tijekom istraživanja, autorica nažalost nije pronašla niti jednu instituciju ili organizaciju koja se bavi uzorkovanjem lučkog mora u Rijeci. Većinom se samo analizira more za kupanje i voda za piće (rijeke i jezera). Točnije, provjerene su informacije u slijedećim organizacijama: KD Vodovod i kanalizacija, Hrvatske vode, Zavod za javno zdravstvo PGŽ, Luka Rijeka, Lučka Uprava Rijeka, Hidro Lab, Institut Ruđer Bošković – Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković – Centar za istraživanje mora i Institut Plavi svijet. U konačnici, za uzorkovanje mora u luci autorica je koristila završni rad, to jest, istraživanje provedeno od strane studenta Marin Vukušića koji studira znanost o moru na fakultetu u Puli. Sa njegovim odobrenjem, iz njegovog završnog rada 'Mikrobiološka analiza vode u Riječkoj luci i ušću Rječine', preuzeti su rezultati mjerenja veljače i rujna 2019. godine.

4.1. Alati

Tehnologija daljinskog istraživanja je skupocjen proces, ponajviše zbog korištenja opreme kao što su sateliti i njihovi senzori te potrebni tim kvalitetnih stručnjaka. Unatoč tome, današnji znanstvenici rade na tome da približe ove mogućnosti široj javnosti s ciljem da se naprave korisna ekološka rješenja. Iz dana u dan, nude se novi alati koji pružaju mnoštvo mogućnosti analize svakog aspekta planete Zemlje. U nastavku opisati će nekoliko glavnih internetskih stranica koje su besplatne za korištenje, a nude mnoštvo funkcija daljinskog istraživanja Zemlje.

4.1.1. NASA Worldview

Alat Worldview iz NASA-inog Sustava podataka i informacijskog sustava za promatranje Zemlje pruža mogućnost interaktivnog pregledavanja više od 900 globalnih slojeva satelitskih snimaka velikih razlučivosti, a zatim preuzimanje osnovnih podataka. Mnogi

slojevi slika svakodnevno se ažuriraju i dostupni su u roku od tri sata od promatranja - u biti prikazujući cijelu Zemlju kako izgleda "upravo sada". To podržava vremenski kritična područja primjene, poput upravljanja šumskim požarima, mjerenja kvalitete zraka, vode i praćenja poplava... Ostale mogućnosti uključuju pregled trenutne prirodne opasnosti i popis prirodnih događaja (uključujući požare, tropske oluje i vulkanske erupcije). Uz pomoć ovog alata može se napraviti dugoročna analiza željenog jednog područja kroz određeno vremensko razdoblje. Worldview od ostalih navedenih alata nudi najveću kolekciju filtera tj. mogućnosti za analize satelitskih slika. Ipak, alat ima lošu vidljivost analize slika manjih područja tako da je ova metoda odlična za analizu velikih površina Zemlje.

4.1.2. EO Dashboard

Idući alat je 2021. godine pušten u javnost te je razvijen suradnjom organizacija kao što su NASA, JAXA i ESA. Zbog toga što je noviji alat, sa sobom donosi kvalitetnije analize slika pojedinih područja uz prikaz podataka putem grafova i dodatnih objašnjenja rezultata. Može se analizirati kvaliteta vode, kvaliteta zraka, podaci COVID19, podaci poljoprivrede te razni ekonomski podaci. Zbog prethodno spomenutih organizacija, postoji mogućnost analiziranja slika sa triju različitih satelita što nam može dati dublje razumijevanje satelitskih slika tj. podataka. Unatoč svim pozitivnim stavkama, alat ograničava korisnike na nekolicinu područja. Alat pruža kvalitetno obrađene podatke od strane stručnjaka, no s takvom kvalitetom očekivan je i pad fleksibilnosti korisnika u korištenju stranice.

4.1.3. Sentinel Hub

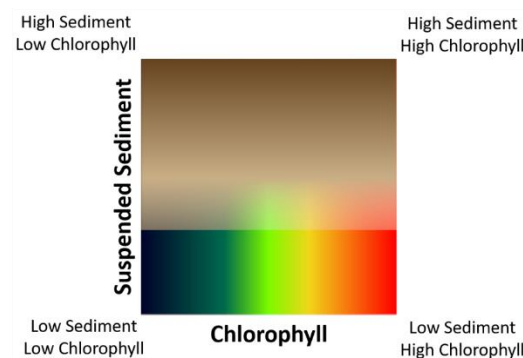
Zadnji predstavljeni alat je ujedno i metoda koja se koristi za usporedbu satelitskih slika sa podacima uzorkovanja lučkog mora u Rijeci. Stvoren od strane tvrtke Sinergise, Sentinel Hub je platforma za obradu satelitskih podataka veličine petabajta kojeg podupiru organizacije kao što su Europska Unija i ESA. Otvara vrata strojnom učenju i pomaže programerima aplikacija diljem svijeta. Sastoji se od Sentinel, Landsat i drugih satelitskih slika za promatranja Zemlje. Podatci su lako dostupni za pregledavanje, vizualizaciju, preuzimanje i analizu. Od prethodno spomenutih alata, Sentinel hub nudi najviše fleksibilnosti uz velik izbor filtera za analize slika. Platforma dozvoljava kalibriranje parametara za odabrane filtere te se mogu nadgledati bilo koja područja i to u razdoblju od 2015. do 2020. godine.

4.1.3.1. Rezultati filtera za detekciju klorofila i sedimenata

Obzirom da su uzorkovanja kvalitete preuzeta od studentskog završnog rada 'Mikrobiološka analiza vode u Riječkoj luci i ušću Rječine', podaci su nepotpunog sadržaja. Iako je student proveo istraživanje na devet različitih mjesta, podataka je jako malo te nedostaju glavni parametri za izračunavanje kvalitete vode (engl. WQI - Water quality index calculation) [45]. Prema istraživanju uzorkovanja kvalitete mora luka u Australiji (Mei Li, 2017.), definiran je postupak uzorkovanja devet ključnih parametara koji se ujedno i koriste u WQI formuli (temperatura mora, otopljeni kisik, pH vrijednost, otopljenost fosfata, otopljenost nitrata, ukupna otopljena kruta tvar, biološka potreba za kisikom i fekalni koliform). Od potrebnih devet parametara, student je napravio uzorkovanje za dva parametra - temperatura i fekalni koliform (Slika 23).

$$WQI = \sum W_i Q_i = W_{Temperature} Q_{Temperature} + W_{DO} Q_{DO} + W_{pH} Q_{pH} + W_{Nitrate} Q_{Nitrate} + W_{Turbidity} Q_{Turbidity} + W_{TDS} Q_{TDS} + W_{Phosphate} Q_{Phosphate} + W_{BOD} Q_{BOD} + W_{Fecal\ Coliform} Q_{Fecal\ Coliform}$$

Nadalje, preuzete su satelitske slike sa stranice 'Sentinel-hub' za veljaču i rujn 2019. godine. Bitno je napomenuti da su parametri za prikaz klorofila i sedimenata kalibrirani radi bolje analize slika zbog čega slike imaju pojačane boje. Uz korištenje ovog filtera, potrebno je pratiti značenje boja na slici 20.

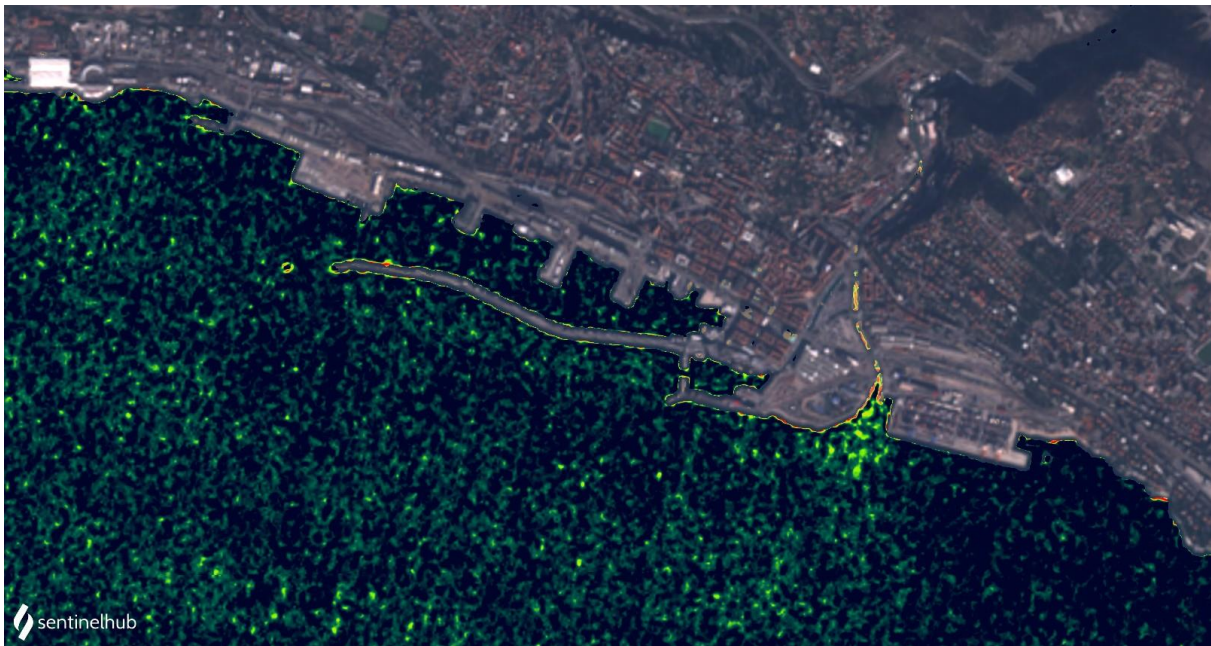


Slika 20. Analiza filtera klorofila i sedimenata (Sentinel-hub - Github repository, 2021.).

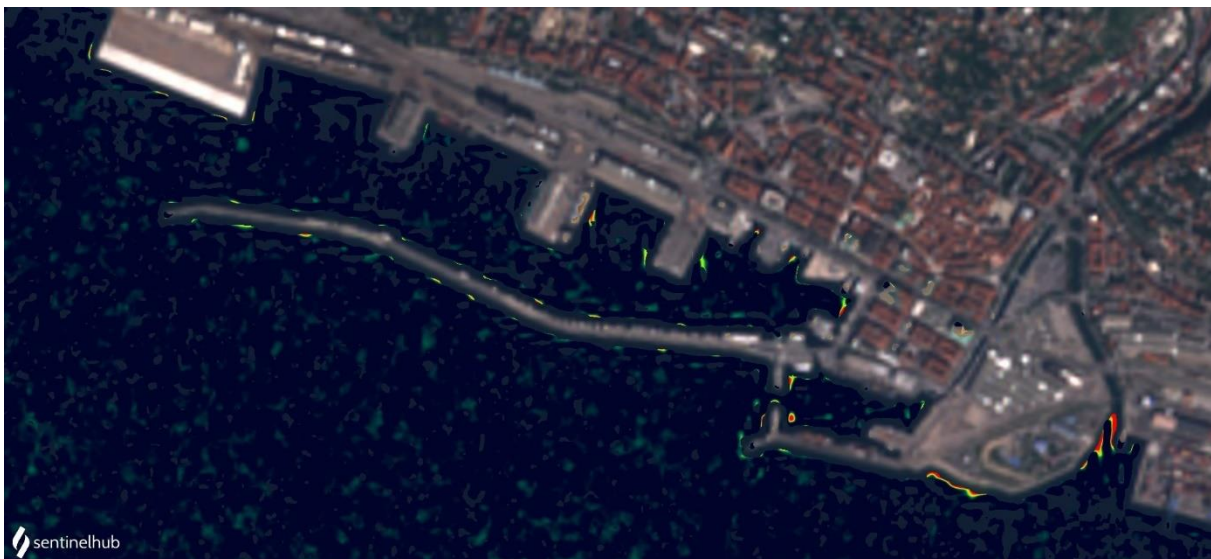
Prateći slike 21 i 22 može se zaključiti da je prikazana puno veća prisutnost klorofila u veljači u odnosu na rujn i to najviše na ušću rijeke Rječine. Sedimenti se vrlo loše vide na obje slike te razlog tome može biti povezan sa nedostatkom veće prostorne razlučivosti slike. Povećane količine klorofila u veljači mogu ukazivati na povećano prisustvo hranjive tvari

odnosno onečišćenje što ne mora biti nužno slučaj na ovoj fotografiji. Snimka iz veljače ima bolju vidljivost klorofila što može značiti da je u rujnu puno čišće more.

Zaključno zbog nepotpunih podataka ne može se pronaći jedinstvena korelacija između uzoraka mora i satelitskih snimaka. Za provođenje ovakvog projekta potrebno je imati puno više uzorkovanja svih prethodno spomenutih indikatora kvalitete mora te popratiti sve sa analizama satelitskih slika.



Slika 21. Sentinel Hub fotografija iz veljače 2019. godine (Sentinel-hub, 2019.).



Slika 22. Sentinel Hub fotografija iz rujna 2019. godine (Sentinel-hub, 2019.).

Veljača 2019.	
Mjerenja	Temperatura
RI2	8.9 °C
RI5	9.6 °C
RI6	8.6 °C
RI7	10.1 °C

Rujan 2019.	
Mjerenja	Temperatura
RI2	17.6 °C
RI5	21.7 °C
RI6	8.6 °C
RI7	21.9 °C
RI8	24.1 °C

Veljača 2019.	
Mjerenja	Salinitet
RI2	1.2 psu.
RI5	7.1 psu
RI7	4,6 psu
RI9	35,4 psu

Rujan 2019.	
Mjerenja	Salinitet
RI2	2,0 psu
RI5	12,0 psu
RI7	7,6 psu
RI9	38,5 psu

Veljača 2019.	
Mjerenja	Escherichia coli
RI7	3140 CFU/20 mL
RI9	0 CFU/100 mL

Rujan 2019.	
Mjerenja	Escherichia coli
RI7	4576 CFU/100 mL
RI9	5 CFU/100 mL

Veljača 2019.	
Mjerenja	Koncentracija fekalnih streptokoka
RI7	2420 CFU/100 mL

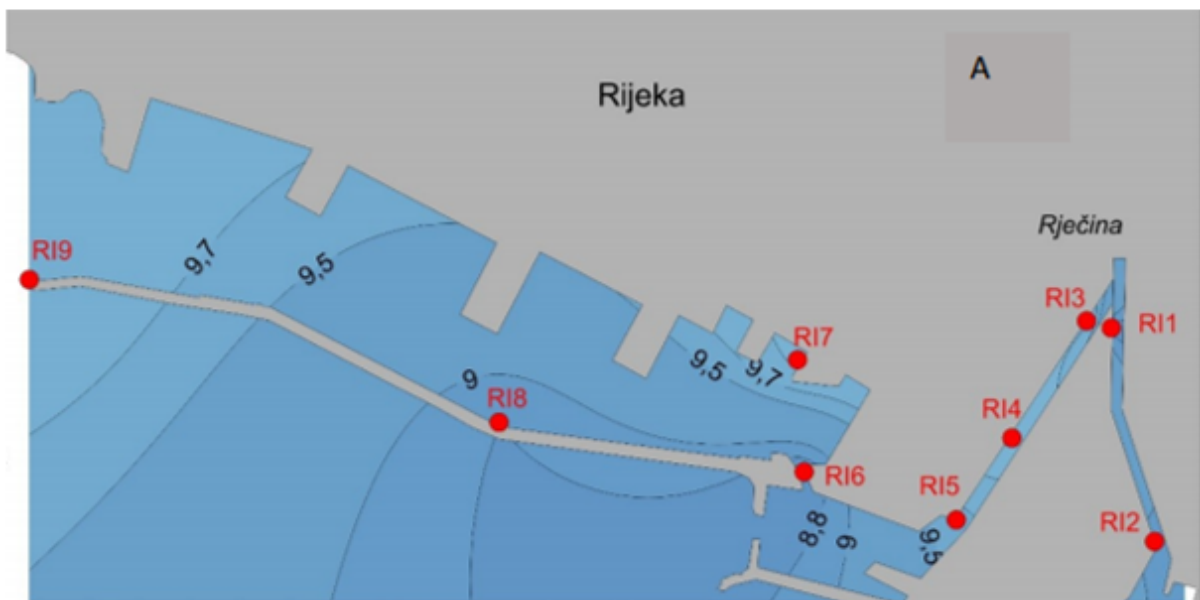
Rujan 2019.	
Mjerenja	Koncentracija fekalnih streptokoka
RI9	12 CFU/100 mL

Veljača 2019.	
Mjerenja	Koncentracija heterotrofnih bakterija
RI6	0.4*106 stanica/mL
RI7	1.71*106 stanica/mL

Rujan 2019.	
Mjerenja	Koncentracija heterotrofnih bakterija
RI7	1,25*106 stanica/mL

Veljača 2019.	
Mjerenja	Koncentracija cijanobakterija
RI9	28*103 stanica/mL

Rujan 2019.	
Mjerenja	Koncentracija cijanobakterija
RI9	30.2*103 stanica/mL



Slika 23. Mjesta uzorkovanja mora (Vukušić, Marin, 2019.).

4.2. NDWI filter

Za interdisciplinarno područje kao što je daljinsko istraživanje, potrebno je i znanje o programiranju te je kroz daljnji rad prikazan primjer postavljanja filtera na satelitsku sliku izvedbom programa u programskom jeziku Python. Nadalje, kada se spominje analiza vodenih površina tada se uvijek spominje i NDWI filter koji je ključan za razlikovanje vodenih od obalnih površina.

Normalizirani diferencijalni indeks vode (NDWI - Normalized Difference Water Index) nova je metoda koja je razvijena za ocrtavanje značajki otvorene vode i poboljšanje njihove prisutnosti u digitalnim slikama. NDWI koristi reflektirano blisko infracrveno zračenje i vidljivo zeleno svjetlo kako bi povećao prisutnost takvih značajki, dok istovremeno uklanja prisutnost značajki tla i kopnene vegetacije. Predlaže se da NDWI također može dostaviti procjene zamućenosti vodenih tijela pomoću digitalnih podataka s daljinskog očitavanja. Po formuli možemo zaključiti da se koriste zeleni i NIR pojas. U nastavku, slijedi implementacija toga filtera u Python programskom jeziku (Sentinel-hub, 2019.).

$$\text{NDWI} = \frac{(X_{\text{green}} - X_{\text{nir}})}{(X_{\text{green}} + X_{\text{nir}})}$$

4.2.1. Postavljanje NDWI filtera na sliku

U programskom jeziku Python, za obradu satelitskih snimaka korištene su sljedeće biblioteke Rasterio, Matplotlib, Numpy i Glob. Glob je biblioteka koja se koristi za učitavanje podataka, to jest, u ovom slučaju slika. Numpy biblioteka služi za izvedbu matematičkih operacija, NDWI i ostalih vrijednosti iz slika. Dok je Rasterio biblioteka korištena za rad sa geoprostornim podacima. Zadnja biblioteka je Matplotlib koja se koristi za vizualizaciju obrađenih podataka.

```
import rasterio
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import colors
import numpy
import glob
```

Pomoću *glob* funkcije, učitavaju se sve slike iz određene datoteke pomoću regularnog izraza *'im/*tif'*.


```
images = glob.glob("im/*.tif")
```

U for petlji se koristi *'rasterio.open'* kojim se uzima učitana fotografija te se zatim ona prosljeđuje funkciji *'src.read()'* gdje odabiremo željeni pojas u satelitskoj snimci. Svaki sloj predstavlja boju (na primjer, crveno, zeleno, plavo, infracrveni sloj) te ga u kodu definiramo putem znamenke (na primjer, za navede prijašnje slojeve definiramo ih od 1 do 4). Nadalje, *'numpy.seterr'* koristimo da izbjegnemo pogreške prilikom pokretanja koda do koje bi došlo kada bi pokrenuli matematičku operaciju dijeljenja s nulom.

```
for filename in images:
    with rasterio.open(filename) as src:
        band_blue = src.read(1)
    with rasterio.open(filename) as src:
        band_green = src.read(2)
    with rasterio.open(filename) as src:
        band_red = src.read(3)
    with rasterio.open(filename) as src:
        band_nir = src.read(4)
    numpy.seterr(divide='ignore', invalid='ignore')
```

U nastavku se izračunava normalizirani indeks razlike vode (NDWI - Normalized difference water indeks). Izračunom ovog indeksa dobivamo jasno definirane razlike između obale i vodenih površina na satelitskim slikama. Formula se koristi za praćenje promjena vezanih za sadržaj vode u vodenim tijelima, koristeći zelenu i infracrvenu (NIR - Near-infrared) valnu duljinu.

```
ndvi = (band_green.astype(float) - band_nir.astype(float)) / (band_green.astype(float) +
band_nir.astype(float))
```

Definirana je klasa *'MidpointNormalize'*, koja služi kao pomoć u normalizaciji boja, odnosno ona pojednostavljuje njenu vizualizaciju. Postavljamo minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti prema indeksu putem kojeg će se slika ograničavati. Nadalje, definiramo paletu boja koje želimo koristiti u kreiranju novih obrađenih fotografija. Predzadnji dio koda definira prikaz fotografije tako što postavljamo širinu spektra boja (color bar), naslov, x i y osi. Na kraju, spremamo obrađene fotografije te ih vizualiziramo.

```
class MidpointNormalize(colors.Normalize):
    def __init__(self, vmin=None, vmax=None, midpoint=None, clip=False):
        self.midpoint = midpoint
        colors.Normalize.__init__(self, vmin, vmax, clip)
    def __call__(self, value, clip=None):
```

```

x, y = [self.vmin, self.midpoint, self.vmax], [0, 0.5, 1]
return numpy.ma.masked_array(numpy.interp(value, x, y), numpy.isnan(value))

min=numpy.nanmin(ndvi)
max=numpy.nanmax(ndvi)
mid=0.1

colormap = plt.cm.RdYlGn
norm = MidpointNormalize(vmin=min, vmax=max, midpoint=mid)

fig = plt.figure(figsize=(10,5))
ax = fig.add_subplot(111)

cbar_plot = ax.imshow(ndvi, cmap=colormap, vmin=min, vmax=max, norm=norm)
ax.axis('off')
ax.set_title('NDWI: ' + str(filename[3:-4]), fontsize=17, fontweight='bold')
cbar = fig.colorbar(cbar_plot, orientation='horizontal', shrink=0.65)

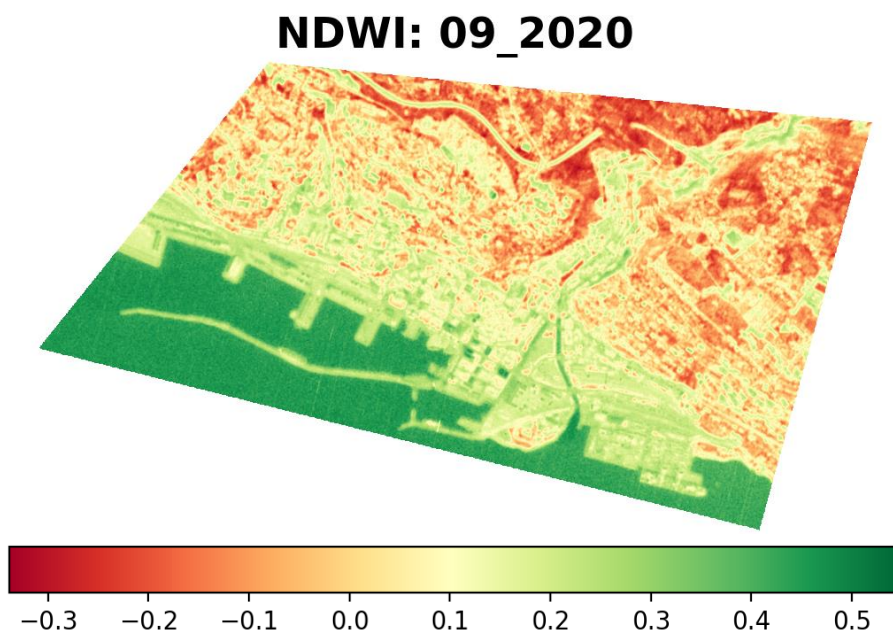
name = str(filename[3:-4])+'.png'
fig.savefig(name, dpi=200, bbox_inches='tight', pad_inches=0.7)

plt.show()

```

4.2.2. Rezultati NDWI filtera

Slike koje su obrađene pomoću programskog koda su zabilježene od veljače do rujna 2020-te godine. Preuzete su sa Copernicus Internet stranice (Copernicus.eu) koja nudi besplatne satelitske fotografije. Filter prikazuje visoki kontrast između mora i obale te na temelju ovog filtera mogu se napraviti daljnje analize vodenih površina (slika 24).



Slika 24. NDWI filter na području Riječke luke za rujna 2020.godine.

5. Metodički dio

5.1. Analiza nastavnog programa srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada

Zbog interdisciplinarne teme, rad obuhvaća tehničko i društveno odnosno informatičko područje podučavanja. Sadržaji se mogu povezati sa predmetima kao što su ekologija, sensorika ili informatika. Ekologija je usko povezana zbog glavnog cilja rada koji govori o zaštiti mora u visoko onečišćenim područjima kao što su luke. Sensorika je također vrlo važan dio rada jer se putem optičkih i radarskih senzora dobivaju satelitske snimke u 'tif' obliku koje sadrže puno više spektralnih pojaseva nego normalna fotografija zbog čega je moguće daljinsko istraživanje. Nadalje, znanje programiranja u Pythonu je neizostavni dio jer ta vještina omogućuje unaprjeđenje analize daljinskog istraživanja.

Na temelju prethodnih razmišljanja, odabrani predmet za metodički dio je informatika. Ovaj rad je povezan sa nastavnom cjelinom 'Programiranje' gdje se obrađuje nova izborna tema - 'Osnovne metode za rad sa slikovnim datotekama'. Ta tema se odlično nadovezuje na diplomski rad tako što pokazuje pojednostavljeni proces upravljanja pojasevima fotografija i njenom vizualizacijom. Tema bi se dobro uklopila u okvirni godišnji kurikulum jer učenici prethodno uče upravljanje datotekama, stoga se ovom temom dodatno može povezati prethodni sadržaj zbog boljeg utvrđivanja gradiva. Predložena tema bi dala uvid učenicima u nove mogućnosti manipuliranja putem programiranja čime bi se također povezalo znanje sa modernim područjem informatike zvanim 'Podatkovna znanost' (engl. Data science). Time učenici dobivaju širu sliku o djelovanju informatike u svijetu te dublje razumijevanje o utjecaju podatkovnih znanosti u rješavanju važnih globalnih problema kao što je onečišćenje okoliša. Nadalje, nastavni predmet informatika u gimnazijama se pojavljuje od prvog do trećeg razreda, te se održava dva sata tjedno, to jest, 70 sati godišnje dok u prirodoslovnim matematičkim gimnazijama postoje dva tipa programa, točnije, 2×70 ili 4×105 sati godišnje. U pripremi je obrađen jedan nastavni sat umjesto uobičajenog blok sata. Cilj predmeta je stjecanje znanja i vještina koje će učenicima omogućiti informatičku pismenost te razvoj računalnog i kritičkog razmišljanja.

Tablica 2. Nastavni sadržaj predmeta informatika za treći razred (Okvirni godišnji izvedbeni kurikulumi za nastavnu godinu 2021./2022.).

Redni broj	Nastavna cjelina	Nastavni sadržaj
1.	Ponavljjanje	- Ponavljjanje - Ponavljjanje - Ponavljjanje
2.	Multimedija	-Multimedija -Obrada slike -Obrada zvuka -Stvaranje i obrada videozapisa -Animacije -Predstavljanje i vrednovanje multimedijskog projekta
3.	Izrada mrežnih stranica	-Tehnologije za izradu web stranica. Izgled i funkcionalnost. -HTML – osnovni elementi -HTML – tablice -HTML – umetanje slika, videa -HTML – umetanje poveznica -Osnove CSS-a -Predstavljanje i vrednovanje mrežnih stranica
4.	Programiranje	-Standardni algoritmi -1.dio -Standardni algoritmi -2.dio -Stringovi -Liste -Skup -Datoteka - Osnovne metode za rad sa slikovnim datotekama -Pretraživanje liste -Sortiranje podataka 1 (bubble sort) -Sortiranje podataka 2 (exchange sort) -Rješavanje zadataka -Ponavljjanje i provjera
5.	Grafika	-Kornjačina grafika -Upotreba boja -Crtanje jednostavnih linija -Crtanje matematičkih funkcija Unos i ispis teksta -Unos i ispis teksta -Ponavljjanje i provjera
6.	Projektne zadaci	-Analiza projektnog zadatka i stvaranje rješenja -Predstavljanje i vrednovanje projekata

5.2. Nastavna priprema

S V E U Č I L I Š T E U R I J E C I ODSJEK ZA POLITEHNIKU

Ime i prezime: Iva Matetić

P R I P R E M A Z A I Z V O Đ E N J E N A S T A V E

Škola: Gimnazija Andrije Mohorovičića Rijeka

Mjesto: Rijeka

Razred: 3.A

Nastavni predmet: Informatika

Kompleks: Programiranje

Metodička (nastavna) jedinica: Osnovne metode za rad s slikovnim datotekama

S A D R Ž A J N I P L A N

Podjela kompleksa na teme

Redni broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		teorija	vježbe
1.	-Standardni algoritmi -1.dio	1	1
2.	-Standardni algoritmi -2.dio	1	1
3.	-Stringovi	1	1
4.	-Liste	1	1
5.	-Skup	1	1
6.	-Datoteka	1	1
7.	- <u>Osnovne metode za rad sa slikovnim datotekama</u>	1	1
8.	-Pretraživanje liste	1	1
9.	-Sortiranje podataka 1 (bubble sort)	1	1
10.	-Sortiranje podataka 2 (exchange sort)	1	1
11.	-Rješavanje zadataka	1	1
12.	-Ponavljanje i provjera	1	1
		12	12

Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice

Informativni karakter – usvajanje novog nastavnog sadržaja.

PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA

Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:

Objasniti tipove slikovnih datoteka i razlike između njih te pokazati kako i na koji način manipulirati slikovnim pojasevima u svrhu boljeg razumijevanja slikovnih datoteka i korištenja Numpy i Matplotlib biblioteka.

Ishodi učenja (postignuća koja učenik treba ostvariti za postizanje cilja):

ZNANJE I RAZUMIJEVANJE :

- Razlikovati tipove slikovnih datoteka
- Razlikovati vektore od rastera
- Objasniti što su to pojasevi slikovnih datoteka
- Nabrojati primjere različitih pojaseva slikovnih datoteka
- Objasniti proces manipulacije i vizualizacije slikovnih datoteka putem Python programskog koda

VJEŠTINE I UMIJEĆA :

- Prepoznati tipove slikovnih datoteka
- Riješiti problem primjenjujući jednostavne tipove podataka definirane zadanim programskim jezikom

SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST :

- Aktivno surađivati s učenicima i nastavnikom pri radu
- Biti aktivan na satu i odgovarati na pitanja

Organizacija nastavnog rada – artikulacija metodičke jedinice:

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
Uvod	-Ponavljanje -Uvođenje u nastavno gradivo	- Ponavljanje o tekstualnim datotekama - Dijalog s učenicima o podatkovnim znanostima i slikovnim datotekama	15
Glavni dio	- Predavanje o podatkovnim znanostima i slikovnim datotekama	-Demonstracija -Timsko rješavanje zadatka	25
Završni dio	-Ponavljanje ključnih pojmova	- Dijalog s učenicima o ključnim pojmovima	5

Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:

Nastavna pomagala:

- Računalo, multimedijalni projektor

Nastavna sredstva:

- Powerpoint prezentacija, ploča, kreda, spužva

Korelativne veze metodičke jedinice s ostalim predmetima i područjima:

1. Likovna umjetnost

Metodički oblici koji će se primjenjivati tijekom rada:

Uvodni dio:

- Dijalog s učenicima kroz koji se ponavlja prethodno stečeno znanje o radu s tekstualnim datotekama.
- Uvodno predavanje predavanje o podatkovnim znanostima i slikovnim datotekama.
- Usmeno izlaganje.

Glavni dio:

- Metoda izlaganja i dijalog s učenicima o korištenju biblioteka Matplotlib i Osgeo.
- Demonstracija rada sa slikovnim datotekama u programskom kodu Python.
- Timski rad.

Završni dio:

- Metoda razgovora, dijalog s učenicima o temi i ponavljanje ključnih pojmova.

Izvori za pripremanje nastavnika:

1. N. Dmitrović, S. Grabusin, Z. Bujanović, Lj. Miletić, D. Kager, „Informatika 3 – Udžbenik iz informatike za 3. razred prirodoslovno-matematičkih gimnazija“, Udžbenik.hr d.o.o., Zagreb 2020.
2. Materijali s kolegija Metodika nastave informatike: Prezentacija – Vrednovanje u nastavi informatike
3. Kurikulum predmeta Informatika
4. Metodički priručnik za srednju školu - Informatika, Ministarstvo znanosti i obrazovanja, 2018.
5. Okvirni godišnji izvedbeni kurikulumi za nastavnu godinu 2021./2022.

Izvori za pripremanje učenika:

1. N. Dmitrović, S. Grabusin, Z. Bujanović, Lj. Miletić, D. Kager, „Informatika 3 – Udžbenik iz informatike za 3. razred prirodoslovno-matematičkih gimnazija“, Udžbenik.hr d.o.o., Zagreb 2020.
2. Bilješke s nastave

TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD

UVODNI DIO

- Ponavljanje

Prije svega pozdravljam učenike te govorim o pozitivnim očekivanjima koja imam za današnju nastavu i time postizem bolju školsku atmosferu pri početku sata. Najavljujem koju ću temu danas prezentirati te povezujem temu sa prijašnjim znanjima učenika o datotekama. Krećem sa uvodnim ponavljanjem putem kratkih pitanja:

1. Koje sve metode smo koristili u radu sa 'txt' datotekama?
2. Opišite mi funkciju svake metode.

Pohvaljujem svaku aktivnost i točan odgovor od strane učenika te nastavljam dalje sa uvodnim predavanjem o slikovnim datotekama.

- Predavanje o podatkovnim znanostima i slikovnim datotekama

Nadalje, kao uvod u novo gradivo najprije vodim dijalog s učenicima o njihovom poznavanju općenito slikovnih datoteka. Potičem razgovor sljedećim pitanjima:

1. Kakve fotografije sve poznajete?
2. Koja je razlika između rastera i vektora?
3. Koje boje fotografije mogu posjedovati?

Pišem po ploči tipove slikovnih datoteka koje trebaju razlikovati (jpg, png, tif). Objašnjavam što su pojasevi na slikama te ujedno prikazujem primjere slika sa različitim pojasevima putem prezentacije. Objašnjavam razliku rastera i vektora te pokazujem na primjerima.

Nadalje, spominjem podatkovnu znanost i njenu primjenu u zaštiti okoliša, medicini, i drugim područjima.

GLAVNI DIO

- Osnovne metode za rad sa slikovnim datotekama

Obrađujem već unaprijed pripremljen zadatak (slika 25.) zajedno sa učenicima na način da prvo objašnjavam koje biblioteke koristimo i čemu služe. Spominjem biblioteke Matplotlib i Osgeo te pitam učenike da li poznaju ove biblioteke i da li znaju što se sa njima može raditi. Naknadno, objašnjavam značenje svake biblioteke.

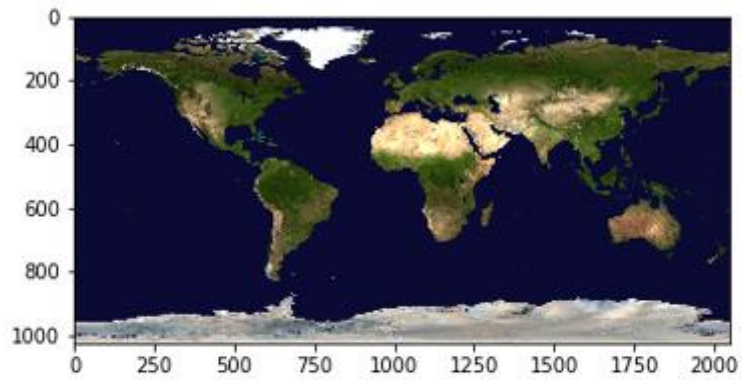
Zajedno sa učenicima otvaram slikovnu datoteku putem 'gdal.Open' funkcije i ispisujemo funkciju koja broji pojaseve slike. Zatim dohvaćamo vrijednosti svakog pojasa i spremamo u

varijable koje kasnije prikazujemo putem funkcije 'ReadAsArray()'. Na kraju, vizualiziramo slikovnu datoteku putem 'imshow()' funkcije (slika 26.).

Radni list	Vizualizacija slikovne datoteke	Ime i prezime:
A. Radni zadatak:		
Pomoću programskog jezika Python, otvori slikovnu datoteku i otkrij koliko pojaseva sadrži odabrana slika. Zatim spremi svaki pojas (boju) u varijablu koju naknadno pretvori u niz. Za kraj, vizualiziraj sliku.		
B. Tijek izvođenja vježbe		
1.		
Pozovi biblioteke Osgeo i Matplotlib putem programskog jezika Python. Iz Osgeo biblioteke treba pozvati Gdal modul, a iz Matplotlib biblioteke treba pozvati Pypplot modul.		
<pre>from osgeo import gdal import matplotlib.pyplot as plt</pre>		
2.		
Prikaži koliko pojaseva postoji u slikovnoj datoteci pomoću funkcije ' <i>dataset.RasterCount</i> '.		
<pre>print(dataset.RasterCount)</pre>		
3.		
Svaki pojas (boju) spremi u varijable putem funkcije ' <i>dataset.GetRasterBand</i> '.		
<pre>band1 = dataset.GetRasterBand(1) # Red channel band2 = dataset.GetRasterBand(2) # Green channel band3 = dataset.GetRasterBand(3) # Blue channel</pre>		
4.		
Pomoću funkcije ' <i>ReadAsArray()</i> ' pretvaramo pojaseve iz rastera u polja. Ključno je uvijek pretvoriti slikovne datoteke u brojke jer tek tada možemo sa njima manipulirati.		
<pre>b1 = band1.ReadAsArray() b2 = band2.ReadAsArray() b3 = band3.ReadAsArray()</pre>		
5.		
Vizualizirajmo polja pomoću Matplotlib biblioteke. Najprije spremamo svaki pojas (boju) u varijablu <i>img</i> putem funkcije ' <i>np.dstack()</i> '. Zbog toga što radimo sa poljima u zagradi funkcije ih navodimo jednom za drugom. Zatim vizualiziramo sliku pomoću funkcije ' <i>plt.imshow()</i> ' u koju stavljamo varijablu <i>img</i> koja sadrži polja pojaseva (boje).		
<pre>img = np.dstack((b1, b2, b3)) plt.imshow(img) plt.show()</pre>		

Slika 25. Primjer radnog lista sa zadanim zadatkom.

Output:



Slika 26. Primjer radnog lista sa prikazanim rješenjem zadatka.

ZAVRŠNI DIO

-Ponavljanje

Za dodatnu provjeru, igramo 'Kahoot!' kviz u kojem učenici mogu ponoviti teorijski dio teme. Nakon svakog odgovorenog pitanja, raspravljamo o točnom odgovoru i razrađujemo ga na temelju primjera.

Izgled ploče

Slikovne datoteke

Tif – engl. Tagged Image File - računalni format datoteke koji se koristi za skladištenje rasterskih grafičkih slika.

Jpg – engl. Joint Photographic Group - komprimirani slikovni format s gubicima izveden iz bitmape.

Png – engl. Portable Network Graphics - otvoreni grafički format namijenjen pohrani ili streamingu nepokretnih slika bez gubitaka, nastao kao zamjena za GIF.

Rasterska grafika – način prikazivanja slike pomoću pravokutne mreže točaka.

Vektorska grafika - način prikazivanja slike pomoću geometrijskih oblika.

Primjeri modela pojaseva slikovnih datoteka:

-Crno bijeli model

-RGB model

(potpis studenta)

Pregledao: _____

*Datum: _____

Osvrt na izvođenje:

6. Zaključak

Onečišćenje mora i općenito okoliša je već duže poznati problem koji se s vremenom pogoršava. Važno je iz ovog rada izvući poruku da sa novom tehnologijom postoje i novi načini i rješenja ka sprječavanju prirodnih katastrofa te bi se ovim metodama mogla bolje regulirati onečišćena mjesta kao što su luke. Evidentno je da Republika Hrvatska još uvijek sustavno ne prikuplja podatke vezane za luke i ne prati količinu onečišćenja koja proizlazi iz nje. Zabrinjavajuće je što se kod takvih visoko onečišćenih prostora ne potiče regulacija u svrhu zaštite okoliša i biljnog i životinjskog svijeta. Hrvatska je prije svega turistička zemlja te se tome i daje velika pažnja tako što postoje javni podatci o kvaliteti mora za kupanje, ali ostali dio se zanemaruje.

Daljinsko istraživanje je metoda koja postoji već dugi niz godina no i dalje se stvaraju novi alati koji omogućuju slobodu ka kreativnom rješavanju aktualnih problema u svijetu. Tehnologije prikazane u radu imaju širok spektar primjene te su pristupačne za širu populaciju stoga se takvi alati trebaju iskoristiti. Morski svijet zauzima većinu prostora na planeti Zemlji te je vrijeme za promjenu na bolje i korištenje dostupnih novih tehnologija ka efikasnijem reguliranju onečišćenih prostora.

LITERATURA

- Kloff, S.; Wicks, C. Environmental Management of Offshore Oil Development and Maritime Oil Transport: A Background Document for Stakeholders of the West African Marine Eco Region. A Research Report by IUCN Commission on Environmental, Economic and Social Policy. 2004.
- Helen, S.; Bloor, M.; Baker, S.; Dahlgren, K. Greener shipping? A consideration of the issues associated with the introduction of emission control areas. *Marit. Policy Manag.* 2016.
- Szepes, M. MARPOL 73/78: The Challenges of Regulating Vessel-Source Oil Pollution. *Manch. Stud. Law Rev.* 2013.
- Ware, K. Assessment of the Impacts of Shipping on the Marine Environment. A Research Report Presented to OSPAR Commission. 2009.
- Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Ocean at Risk? GESAMP Statement of 1998 Concerning Marine Pollution Problems. 1999.
- Donau, V. Danube Ports. 2010. <http://www.danubeports.info>
- Zadarski.hr, 2020., <https://zadarski.slobodnadalmacija.hr/zadar/tribina/pismo-citatelja-zasto-se-zadarski-kruzer-marella-dream-jucer-ponovno-uputio-na-otvoreno-more-da-bi-se-vec-u-srijedu-usidrio-kod-talijanske-luke-1042189>
- Berger, H. Waste Management for Inland Navigation on the Danube. 2012. http://www.donauschiffahrt.de/de/100078442/unsere_flotte.html
- ICES, International Council for the Exploration of the Sea. Report on the Ices Advisory Committee on the Marine Environment. Copenhagen, 1994.
- Berger, H.; Horvat, I.; Simongáti, G. Ship Waste Management along the Danube: The Way towards an International Danube Ship Waste Convention. *Waste Manag. Environ.* 2014, 180, 53–64.
- Liu, N.; Maes, F. Prevention of Vessel-Source Marine Pollution: A Note on the Challenges and Prospects for Chinese Practice under International Law. *Ocean Dev. Int. Law* 2011, 42, 356–367.
- The Maritime Exclusive : Saudi Aramco selects Chelsea technologies for ballast water compliance benchmarking, shorturl.at/orGN6
- Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). Environmental Impacts of International Shipping: The Role of Ports; OECD Publishing: Paris, France, 2011; pp. 1–141.

- International Maritime Organization. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships MARPOL 73/78. 2018. Available online: [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) (accessed on 15 August 2018).
- Pavlic, B.; Cepak, F.; Sucic, B.; Peckaj, M.; Kandus, B. Sustainable port infrastructure, practical implementation of the green port concept. *Therm. Sci.* 2014, 18, 935–948. .
- Burdall, A.C.; Williamson, H.J. A green port: An engineer's view. In *Ports into the Next Century*; Ford, C.R., Ed.; Thomas Telford Limited: London, UK, 1991; pp. 247–259.
- Wang, L.; Wang, N. The Interaction Development between Port Cluster and City Based on Green Conception. In *Proceedings of the International Conference on Transportation Engineering (ICTE)*, Chengdu, China, 22–24 July 2007; pp. 1873–1878.
- Wooldridge, C.F.; McMullen, C.; Howe, V. Environmental management of ports and harbours—implementation of policy through scientific monitoring. *Mar. Policy* 1999, 23, 413–425.
- Acciaro, M.; Ghiara, H.; Cusano, M.I. Energy management in seaports: A new role for port authorities. *Energy Policy* 2014, 71, 4–12.
- Davarzani, H.; Fahimnia, B.; Bell, M.; Sarkis, J. Greening ports and maritime logistics: A review. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 2016, 48, 473–487.
- Puig, M.; Wooldridge, C.; Darbra, R.M. Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development. *Mar. Pollut. Bull.* 2014, 81, 124–130.
- Chiu, R.-H.; Lin, L.-H.; Ting, S.-C. Evaluation of green port factors and performance: A fuzzy AHP analysis. *Math. Probl. Eng.* 2014, 2014, 1–12.
- Deutsche Welle. *Constrained and Tamed: Will the Elbe be Deepened Again?* 2017. <https://www.dw.com/en/constrained-and-tamed-will-the-elbe-be-deepened-again/a-37447171> .
- Winnes, H.; Styhre, L.; Fridell, E. Reducing GHG emissions from ships in port areas. *Res. Transp. Bus. Manag.* 2015, 17, 73–82.
- Puig, M.; Wooldridge, C.; Darbra, R.M. Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development. *Mar. Pollut. Bull.* 2014, 81, 124–130.
- Notteboom, T.; Lam, J. The Greening of Terminal Concessions in Seaports. *Sustainability* 2018, 10, 3318. [CrossRef]

Poulsen, R.T.; Ponte, S.; Sornn-Friese, H. Environmental upgrading in global value chains: The potential and limitations of ports in the greening of maritime transport. *Geoforum* 2018, 89, 83–95.

Lister, J.; Poulsen, R.T.; Ponte, S. Orchestrating transnational environmental governance in maritime shipping. *Glob. Environ. Chang.* 2015, 34, 185–195.

Notteboom, T.; Lam, J. The Greening of Terminal Concessions in Seaports. *Sustainability* 2018, 10, 3318.

De Borger, B.; Proost, S.; Van Dender, K. Private port pricing and public investment in port and hinterland capacity. *J. Transp. Econ. Policy (JTEP)* 2008, 42, 527–561.

NRCAN, Fundamentals of Remote Sensing – Introduction: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/fundamentals-remote-sensing-introduction/9363>

GSP 216: Introduction to remote sensing : https://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson3-1/resolution.html

Utiliscorp, Katherine E. Berry, Passive Vs. Active Sensors...Demystifying Satellite-Based Leak Detection, 2020. :<https://utiliscorp.com/passive-vs-active-sensors-demystifying-satellite-based-leak-detection-by-katherine-e-berry-mps/> .

Advanced Webinar: Integrating Remote Sensing into a Water Quality Monitoring Program. https://www.youtube.com/watch?v=p0syKhg_IME&t=244s&ab_channel=NASAVideo

DHI Gras solution, Water quality monitoring from space, 2000.

Coast watch NOAA: <https://coastwatch.noaa.gov/cw/satellite-data-products.html>

Završni rad: Vukušić, Marin Mikrobiološka analiza vode u Riječkoj luci i ušću Rječine; Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

NASA - Goddard Space Flight Center, Imagine the Universe, The Electromagnetic Spectrum, 2013.: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>

Christine M. Lee, Remote sensing workshop: How can remote sensing be used for water quality monitoring?, 2014.: https://acwi.gov/monitoring/conference/2014/1ExtendedSessions/L8/Lee_RemoteSensingWorkshop.pdf

NASA Worldview: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

EO Dashboard: <https://eodashboard.org/>

SENTINEL-HUB: <https://apps.sentinel-hub.com/>

Github – SENTINEL – HUB: <https://github.com/sentinel-hub/custom-scripts>

Copernicus: <https://www.copernicus.eu/hr/o-programu-copernicus>

Water quality assessment of Australian ports using water quality evaluation indices :
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5731693/>

Leksikografski zavod Miroslav Krleža., Informacijska i komunikacijska tehnologija:
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=27406>

Okvirni godišnji izvedbeni kurikulumi za nastavnu godinu 2021./2022.

Croatia Webinar Series, Webinar #6: Space Applications in Everyday Life - Satellite Data and Systems, 2021. shorturl.at/bAMPQ

James B. Campbell and Randolph H. Wynne, Introduction to remote sensing, 2011.

Grindgis: Know Basics of Remote Sensing Quickly and Become Expert, 2015.,
<https://grindgis.com/what-is-remote-sensing/know-basics-of-remote-sensing>

NASA ARSET: Fundamentals of Aquatic Remote Sensing, 2020.:
https://www.youtube.com/watch?v=1TBtJ8pTANQ&t=66s&ab_channel=NASAVideo
[o](#)

Earth Observing System, Satellite Data: What Spatial Resolution Is Enough?, 2019.:
<https://eos.com/blog/satellite-data-what-spatial-resolution-is-enough-for-you/>

NDWI (Normalized Difference Water Index)". Sentinel Hub, Sinergise Ltd. n.d.
<https://www.sentinel-hub.com/eoproducts/ndwi-normalized-difference-wate...>,
Accessed Mar 1, 2019.