



Sveučilište u Rijeci
University of Rijeka
<http://www.uniri.hr>

Polytechnica: Journal of Technology Education, Volume 6, Number 1 (2022)
Politehnika: Časopis za tehnički odgoj i obrazovanje, Volumen 6, Broj 1 (2022)



Politehnika
Polytechnica
<http://www.politehnika.uniri.hr>
cte@uniri.hr

DOI: <https://doi.org/10.36978/cte.6.1.5>

Stručni članak
Professional paper
UDK: 551.463:004
004:551.463

Evaluacija kakvoće mora luka metodom daljinskog istraživanja

Iva Matetić

Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci
Vukovarska 58
51000 Rijeka, Hrvatska
imatetic@riteh.hr

Lidija Runko Luttenberger

Studij Politehnike, Sveučilište u Rijeci
Sveučilišna avenija 4
51000 Rijeka, Hrvatska
lidija.luttenberger@uniri.hr

Sažetak

Luke imaju velik gospodarski značaj, ali također predstavljaju značajan izvor onečišćenja, bilo od brodskog tereta ili otpada koji nastaje na brodu. Koncept zelene luke primjenjuje se kao nova paradigma koja nastoji uskladiti lučke aktivnosti s okolišnim i socijalnim pitanjima bez ugrožavanja gospodarskog rasta, čime postaje sinonim za održivu luku. Uz nužnost uvođenja redovitog uzorkovanja mora u luci, potrebno je koristiti i nove dostupne tehnologije kao što je daljinsko istraživanje s ciljem unaprjeđenja nadzora nad kvalitetom vode i efikasnije kontrole onečišćenja morskih prostora, čime se pospješuje održivost luka. U radu se daje prikaz dostupnih aktualnih alata za analizu kvalitete mora te se analiziraju mogućnosti daljinskog istraživanja stanja kvalitete morskog okoliša na primjeru područja luke Rijeka, najveće luke u Republici Hrvatskoj.

Ključne riječi: *zelene luke; onečišćenje mora; daljinsko istraživanje; satelitske slike; analiza kakvoće mora; luka Rijeka.*

1. Uvod

Pomorske luke u Hrvatskoj glavna su stjecišta gospodarskih aktivnosti i značajni izvori onečišćenja. Brodsko gorivo, značajan dnevni promet dizelskih kamiona, 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 obzirom da je rast međunarodne

trgovine rezultirao odgovarajućim brzim povećanjem količine robe koja se otprema pomorskim prijevozom. Međutim, unatoč značajnom rastu u sektoru pomorskog brodarstva i utjecaja luka na okoliš, većina napora za sprečavanje onečišćenja na lokalnoj i državnoj razini usmjerena je na izvore onečišćenja drugih sektora.

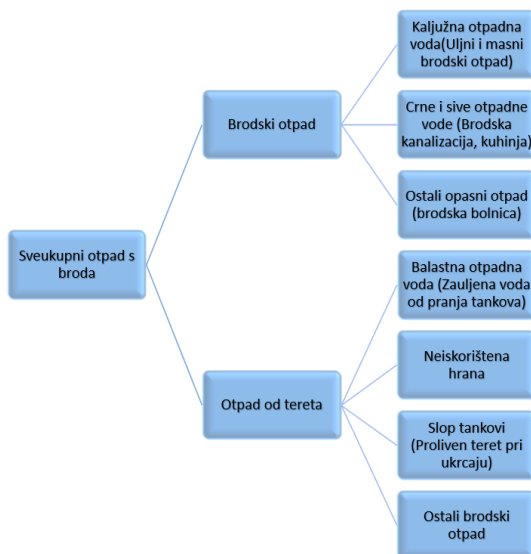
U radu se analizira utjecaj brodova na morski okoliš u lukama te prezentira pojam zelenih luka koji predstavlja cjelokupan cilj i ideju unaprjeđenja nadzora lučkih područja i zaštite okoliša. Slijedi opis daljinskog istraživanja kvalitete vodenih površina i prikaz prednosti metode. Spominju se

važni konstituenti od kojih se izdvajaju klorofil i ukupni suspendirani sedimenti. Daje se opsežan opis svih koraka za analizu kvalitete mora kao što su odabir web platforme za analizu satelitskih snimki, odabir satelita i njegovog senzora, opisuju modeli i programska skripta za detekciju konstituenata na primjeru luke Rijeka, nakon čega slijedi interpretacija rezultata i zaključak.

2. Utjecaj brodova na morski okoliš

U izvor onečišćenja u pomorstvu se ubraja brodski teret koji se prevozi ili otpad 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. Također, takve aktivnosti dodatno uvode strane vode u lukama (što prijeti populaciji morskih životinja) i negativno utječe na gospodarstvo zemlje koje ovisi o komercijalnom ribolovu (Kloff, 2004.).

Slika 1 klasificira otpad s brodova koji se može ispustiti u otvoreno more, unutarne 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 ispusti u i izvan lučkog okruženja (Danube Ports. 2010.).

U dosadašnjim studijama vezanih za problematiku daljinskog istraživanja na lučkim područjima, istraživala se batimetrija mora (Mateo-Pérez, 2020.; Zhongqiang, Zhihua i Wen,

2021.).

Autori (Sipelgas i dr., 2018.) su proveli daljinsko istraživanje kvalitete vode za pet luka u Baltičkom moru tokom deset godina. Primarni konstituenti istraživanja su bili obojena otopljena organska tvar i ukupni suspendirani sedimenti. Rezultati ovog istraživanja prezentiraju učinke pomorskog prometa na povećanje razine ukupnih suspendiranih sedimenata. Zabilježeni podaci o promjenama ukupnih suspendiranih sedimenata i obojenih otopljenih organskih tvari u lukama mogu se koristiti kao podršku u budućem prostornom planiranju i nadzoru nad lučkim područjima u Baltičkom moru.

Nadalje, studija (Klein, Zviely, 2020.) istražuje utjecaj luke na obalne plaže uz korištenje tehnika daljinskog istraživanja i prediktivnog fizičkog modela za analizu promjena u obalnom području kroz transport sedimenata. Nadalje, analiza. Nadalje, u (Hellweger, 2004.) se analiziraju satelitske snimke luke u New York-u s ciljem utvrđivanja najboljih senzora za analizu kvalitete vode.

3. Zelene luke

Ekološka luka, poznata i kao zelena luka, luka je održivog razvoja, što ne znači da zadovoljava samo ekološke već i ekonomske zahtjeve. Glavno pitanje zelenih luka je pronaći točku ravnoteže između utjecaja na okoliš i ekonomskog utjecaja. Ravnotežna točka temelji se na ispravnoj prosudbi o ekološkim i ekonomskim interesima, te ispunjavanju uvjeta da ne dođe do reverzibilnih promjena u okolišu. Glavni cilj zelene luke je da umanjí negativan utjecaj na okoliš i poveća ekonomska učinkovitost, kako bi se osigurao sklad društvene zajednice i okoliša, te uspostavio vodeći položaj luke u suvremenom transportu, logistici, pružanju lučkih usluga i integraciji u industrijski sustav (Feng i dr., 2009.).

Prema Pavlicu, pojam „zelena luka“ razvio se iz zajedničkih istraživačkih aktivnosti između akademske zajednice i industrije vezanih za održivost u pomorskom sektoru (Pavlič, B., 2014). Koncept zelene luke počeo se koristiti početkom 1990. godine (Burdall, 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, 2007.). U ranim razdobljima su prioritetna pitanja zaštite okoliša kojima su se bavile europske i sjevernoameričke luke uključivale kvalitetu vode, jaružanje i buku. Ukazuje se da upravitelji luka

moгу 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 održivu luku. Zelena luka je ona luka koja provodi projekte i inicijative u vezi poboljšanja kvalitete zraka, ublažavanja klimatskih promjena i koja koristi obnovljive izvore energije te čista goriva u lučkim aktivnostima (Acciaro, M., 2014.).

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, poboljšanje kvalitete zraka, energetsku učinkovitost, korištenje obnovljive energije, ekološki prihvatljivu mobilnost u lukama i smanjenje utjecaja na klimatske promjene, a 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 lukama koje su certificirane prema normi ISO 14001.

U nastavku slijedi opis potencijalnog nadzora kvalitete putem daljinskog istraživanja mora na primjeru luke Rijeka, a u smislu ideje zelene luke.

4. Daljinsko istraživanje kvalitete vodenih površina

Daljinsko istraživanje (engl. remote sensing) se može definirati na sljedeći način (James B. Campbell and Randolph H. Wynne, 2011.):

- daljinsko istraživanje je u osnovi umijeće ili znanost da se opiše predmet, bez dodirivanja,
- daljinsko istraživanje praksa je pridobivanja podataka o Zemljinoj površini korištenjem slika dobivenih pomoću elektromagnetskog zračenja u jednom ili više područja elektromagnetskog spektra, reflektiranih ili emitiranih sa Zemljine površine,

Proces daljinskog istraživanja počinje sa izvorom svjetlosti kao što je sunčeva energija koja

ozrači predmet istraživanja te tom interakcijom se putem optički osjetljivih konstituenta vraća refleksija u senzor satelita. Vraćena refleksija se tada pretvara u signal koji je spreman za digitalnu obradu, analizu i interpretaciju temeljem koje se može primijeniti za rješenje određenih problema (NRCAN, 2015.).

4.1. Prednosti daljinskog istraživanja nad tradicionalnim metodama

Putem daljinskih istraživanja moguće je analizirati tri svojstva: fizikalna, kemijska i biološka. Ta ista svojstva vrijede za svaki materijal na površini Zemlje. U kontekstu analize kvalitete vode, indikatori se mogu utvrditi tradicionalnim metodama terenskim fizičkim uzorkovanjima vodenih površina, te naknadnom analizom uzoraka u laboratoriju. Iako 'in-situ' mjerenja nude visoku preciznost, to je zahtjevan i dugotrajan proces, te stoga nije izvedivo osigurati istovremeno bazu podataka o kvaliteti vode na širem području. Nadalje, tradicionalna metoda prikazuje točku procjene kvalitete vode u vremenu i prostoru, stoga dobivanje prostornih i vremenskih varijacija indeksa kvalitete kod većih površina je gotovo nemoguće. Zaključno, tradicionalne metode je potrebno unaprijediti putem metoda daljinskog istraživanja u svrhu dobivanja kvalitetnijih rezultata i praktičnijeg prikupljanja podataka.

Nedostaci tradicionalnih metoda su sljedeći (Gholizadeh, Mohammad Haji, Assefa M. Melesse, and Lakshmi Reddi, 2016.):

- uzorkovanje 'in-situ' metodama i analiza uzoraka je radno intenzivna, vremenski dugotrajna i skupa metoda,
- nemoguće je istraživati prostorne i vremenske varijacije i trendove kvalitete vode na velikim prostorima,
- nadzor, predviđanje i upravljanje vodenim površinama može biti nedostupno zbog topografskih prilika,
- točnost i preciznost prikupljenih podataka mogu biti upitni zbog pogreške uzorkovanja na terenu i zbog pogreške u laboratoriju.

Daljinsko istraživanje može biti koristan alat zbog svojih izraženih sposobnosti za praćenje i određivanje kvalitete vodenih površina. Iako su mogućnosti daljinskog istraživanja za procjenu kakvoće vode neosporne, ova tehnika sama po sebi nije dovoljno precizna i trebala bi se koristiti u kombinaciji s tradicionalnim metodama uzorkovanja i terenskim istraživanjem. Drugim

riječima, integrirana uporaba daljinskog senzora, 'in-situ' mjerenja i računalnog modeliranja kvalitete vode može pružiti bolji uvid o kvaliteti vode u vodnim sustavima.

4.2. Klasifikacija vodenih površina

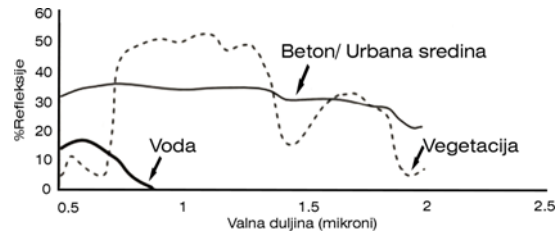
Kada se promatraju vodene površine daljinskim istraživanjem, početni korak je specificirati predmet istraživanja, točnije kategoriju promatrane vodene površine. Prema literaturi (Chang, Ni-Bin; Imen, Sanaz; Vannah, Benjamin, 2015.) vodene površine se mogu podijeliti na

- otvorene vode (oceani) koje karakteriziraju konstituenti kao što su fitoplankton i promjenjivi materijali biološkog podrijetla,
- ostale vodene površine (obalna područja, jezera, plitke površine, rijeke...) koje karakteriziraju konstituenti koji značajno utječu na optička svojstva vode (fitoplankton i srodni materijali, suspendirane anorganske čestice i obojena otopljeni organska tvar (CDOM – 'colored, dissolved organic matter').

Svaki slučaj ima svoje prednosti i nedostatke prema kojima je potrebno odrediti daljnje tehnike i modele daljinskog istraživanja i analize kvalitete vode. Promatranje lučkog mora se može klasificirati kao vodena površina drugog slučaja, prema čemu se odabiru sateliti i metode.

4.3. Konstituenti kvalitete vodenih površina

Voda je naspram drugih površina u pogledu daljinskog istraživanja složeno tijelo zbog toga što je prozirna. Fizički prozirno tijelo većinu zračenja upije a tek nekolicinu reflektira (Gholizadeh i dr., 2016.). Slika 2 pokazuje odgovarajuće spektre za materijale od vidljivog do srednjeg infracrvenog područja elektromagnetskog spektra. Mjernim instrumentom 'Spektrofotometrom' se dobivaju rezultati s prikazanim spektralnim potpisima za svaku površinu (Lee, 2014.). Slika prikazuje spektralne potpise vode, urbane sredine i vegetacije. Najbolja detekcija u pogledu vodenih površina je nad obalnim područjima.



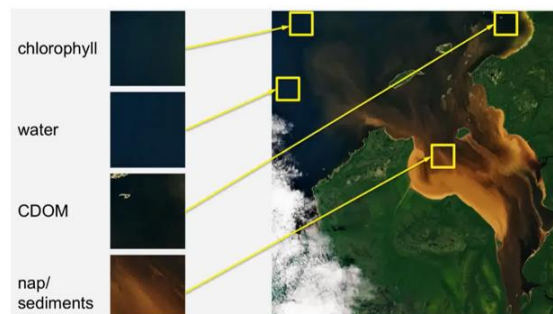
Slika 2. Spektralni potpisi vode, betona i vegetacije (Lee, 2014.).

Zbog tog svojstva postoje optički konstituenti koji su osjetljivi na sunčevo zračenje, te polu-optički osjetljivi i neosjetljivi konstituenti. Glavnih 11 osjetljivih konstituenata su klorofil-a, CDOM, dubina Secchi diska, zamućenost, ukupni suspendirani sedimenti, temperatura vode, ukupni fosfor, salinitet površine mora, otopljeni kisik, biokemijske potrebe kisika te kemijska potreba za kisikom.

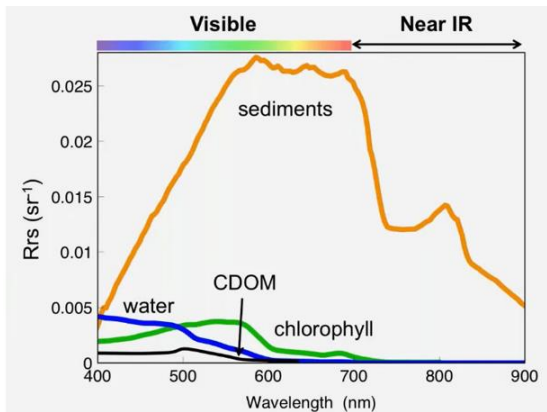
Slijede manje osjetljivi parametri koji su, iako teži u pogledu detektiranja, veoma važni za interpretaciju kvalitete vode, pa ih stoga treba ukomponirati u istraživanje ukoliko je moguće. Manje osjetljivi konstituenti su pH vrijednost, ukupni dušik, amonijačni dušik, nitratski dušik i otopljeni fosfor.

Ostali neosjetljivi konstituenti ne mijenjaju spektralna svojstva reflektirane zrake stoga nemaju signal putem kojeg se mogu detektirati na satelitskim snimkama. Unatoč tome postoje visoke statističke korelacije između optički osjetljivih i neosjetljivih parametara, te se temeljem toga može utvrditi optičke neosjetljive parametre kvalitete vode. Oni uključuju kiselost vode, kemikalije i patogene (Gholizadeh i dr. 2016.).

Na slikama 3 i 4 je prikazan primjer detekcije osjetljivih optičkih konstituenata (klorofil, obojene otopljene organske tvari i ukupni suspendirani sedimenti) i njihov spektralni potpis:



Slika 3. Primjer vidljivosti parametara na neobrađenoj satelitskoj slici (NASA ARSET, 2020.).



Slika 4. Prikaz parametara kvalitete vode (NASA ARSET, 2020.).

4.4. Klorofil i ukupni suspendirani sedimenti

Najvažniji parametri kakvoće vode iz perspektive upravljanja staništima su koncentracija klorofila i koncentracija suspendiranog sedimenta, a oni su također snažno povezani s kvalitetom vode za kupanje i piće u smislu ljudske upotrebe. Koncentracija klorofila je pokazatelj količine algi, a time i energije i biomase koji se unose u vodenu mrežu hrane putem fotosinteze. Budući da je rast algi često ograničen dostupnošću hranjivih tvari, visoke koncentracije klorofila često su rezultat onečišćenja iz komunalne kanalizacije ili poljoprivrednog otjecanja.

Ukupni suspendirani sedimenti mogu potjecati od struja ili valova koji pomiču sedimente prema površini s dna vode (resuspenzija), ili iz pritoka koje nose sedimente dok teku. Količina sedimenta u vodenom stupcu također uvelike ovisi o veličini zrna (Ulyssys Water Quality Viewer, 2020.).

5. Provedba analize kvalitete mora u luci Rijeka

Za praktični dio obrade digitalnih satelitskih snimki potrebni su specifični alati i metode. U ovom poglavlju prikazani su i pobliže objašnjeni svi potrebni koraci za analizu lučkog mora.

5.1. Odabir web platforme

Tehnologija daljinskog istraživanja je skupocjen proces, ponajviše zbog korištenja opreme kao što su sateliti i njihovi senzori te potrebnog tima kvalitetnih stručnjaka. Unatoč tome, današnji

znanstvenici rade na tome da približe ove mogućnosti široj javnosti s ciljem da se osmisle korisna ekološka rješenja. Iz dana u dan, nude se novi alati koji pružaju mnoštvo mogućnosti analize svakog aspekta planete Zemlje.

U nastavku se daje prikaz nekih web platformi koje su besplatne za korištenje, a nude mnoštvo mogućnosti daljinskog istraživanja Zemlje. Za ovo istraživanje je odabrana platforma 'Sentinel Hub' putem koje su prikupljene satelitske snimke i napravljene analize za detekciju konstituenata kvalitete vode.

5.1.1. 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 visoke razlučivosti, te također preuzimanja 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, praćenja poplava i sl.

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 nekog područja kroz određeno vremensko razdoblje. Worldview u odnosu na ostale navedene alate nudi najveću kolekciju filtera tj. mogućnosti za analize satelitskih slika. Ipak, alat ima lošu vidljivost za analizu slika manjih područja tako da je ova metoda odlična za analizu velikih površina Zemlje (NASA Worldview, 2021.).

5.1.2. EO Dashboard

Alat EO Dashboard je 2021. godine postao javno dostupan, a razvijen je suradnjom organizacija kao što su NASA, JAXA i ESA. Zbog toga što je to 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 za COVID19, podaci iz poljoprivrede te razni ekonomski podaci. Zbog suradnje prethodno spomenutih organizacija, postoji mogućnost analiziranja slika sa triju različitih satelita što može pružiti dublje razumijevanje satelitskih slika tj. podataka. Alat pruža kvalitetno obrađene podatke

od strane stručnjaka, no s takvom kvalitetom očekivano je da neće postojati mogućnost pregledavanja svih područja na Zemlji, pa su korisnici na taj način ograničeni (EO Dashboard, 2021.).

5.1.3. Sentinel Hub

Zadnji predstavljeni alat je ujedno i metoda koja se koristi za usporedbu satelitskih slika sa podacima uzorkovanja mora u luci Rijeka. 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 promatranje Zemlje. Podaci su lako dostupni za pregledavanje, vizualizaciju, preuzimanje i analizu. Od svih prethodno spomenutih alata, 'Sentinel Hub' nudi najveću fleksibilnost uz velik izbor filtra za analize slika. Platforma dozvoljava kalibriranje parametara za odabrane filtre te se može nadgledati bilo koje područje i to u razdoblju od 2015. do 2020. godine (Sentinel-hub, 2011.).

5.2. Odabir satelita za prikupljanje satelitskih snimaka

Na samom početku pripreme za analizu, potrebno je prikupiti adekvatne satelitske snimke, to jest, izabrati pogodan satelit za predmet istraživanja. Platforma 'Sentinel hub' nudi velik broj satelita koji imaju različite funkcije za određena područja istraživanja. Sateliti koji se bave analizom vodenih površina i koji imaju dostupne metode za analizu kvalitete vode su Sentinel-2 i Sentinel-3. Oba satelita se uspoređuju temeljem primarnih karakteristika razlučivosti koja se dijeli na prostornu, spektralnu, radiometrijsku i vremensku razlučivost. Potrebno je naglasiti da je gotovo nemoguće pronaći satelitske snimke koje posjeduju najvišu razinu razlučivosti u sve četiri kategorije. Stoga se radi kompromis i pronalazi satelit koji će dati najbolje rezultate za istraživanje.

Temeljem prethodne podjele može se vidjeti i zaključiti da je kod istraživanja lokalnih područja kao što je u našem slučaju luka Rijeka, potrebna visoka prostorna razlučivost zbog kvalitetnijeg detektiranja vodenih konstituenata. Prostorna razlučivost za 'Sentinel-2' iznosi 60 m što je u usporedbi sa 'Sentinel-3' sa 300 m, puno bolji izbor za analizu. Nadalje, spektralna razlučivost je puno veća kod 'Sentinel-3' satelita koji posjeduje 21

spektralni pojas u odnosu na 13 pojaseva 'Sentinel-2' satelita. Iako 'Sentinel-3' može kvalitetnije razaznati spektralne potpise vodenih konstituenata, ipak nije dobar izbor za manja područja stoga je odabrani satelit 'Sentinel-2' (Copernicus, 2011.).

5.3. Korištena metodologija

5.3.1. Model

Daljinsko istraživanje podrazumijeva nekoliko modela koji se mogu podijeliti na empirijske modele, analitičke modele i modele strojnog učenja.

Empirijski modeli se dijele na čisto empirijske i polu-empirijske modele. Čisto empirijski modeli koriste vrijednosti ulaznog spektralnog pojasa i omjera pojaseva kao koeficijent, često generirajući više modela i odabira najbolje prikladnog modela putem usporedbom metrike pogreške (Topp, 2020.).

Polu-empirijski modeli su kombinacija empirijskih i analitičkih modela. Korištenjem određene paradigme izvedene iz analitičkih modela, imaju dobru primjenjivost za izračunavanje varijabli kvalitete vode kombiniranjem male količine 'in-situ' podataka i vrijednosti refleksije ili zračenja. Polu-empirijska metoda razmatra optičke karakteristike parametara kakvoće vode i ima bolju prenosivost od empirijske metode. Ovi modeli se koriste većinom za mjerenje vodenih konstituenata kao što su: jasnoće vode, klorofila, cijanobakterija, suspendiranih tvari, CDOM (obojena otopljena organska tvar) (Yang, 2022.).

Nadalje, Analitički modeli se dijele na čisto analitičke i polu-analitičke modele. Oba modela su u suštini fizički modeli koji uključuju kalibraciju parametara temeljem inherentnih optičkih svojstva vodenih konstituenata. Polu-analitički modeli dodatno koriste tradicionalnu in-situ metodu fizičkih uzorkovanja zbog točnije kalibracije parametara modela (Topp, 2020.).

Modeli strojnog učenja su moderniji pristup te su popularni zbog svog automatiziranja izdvajanja informacija iz podataka pomoću računalnih i statističkih metoda (Lary, 2016.).

Važno je naglasiti da daljinsko istraživanje samo po sebi nije dovoljno precizno te se treba koristiti u kombinaciji s tradicionalnim metodama uzorkovanja i terenskim istraživanjima zbog kvalitetnijih rezultata. Integrirana upotreba daljinskog istraživanja i mjerenja na licu mjesta i

računalno modeliranje kvalitete vode može pružiti značajna saznanja o kvaliteti vodenih površina (Gholizadeh, Melesse i Reddi, 2016.). Nažalost, tijekom istraživanja, nije pronađena niti jedna institucija ili organizacija koja se bavi uzorkovanjem lučkog mora u Rijeci. Većinom se analizira more za kupanje i voda za piće (rijeka 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.

Usprkos tome, u radu je proveden polu-empirijski model putem kojeg su se analizirale i detektirale količine klorofila i sedimenata u lučkom moru.

5.3.2. Detekcija klorofila i sedimenata

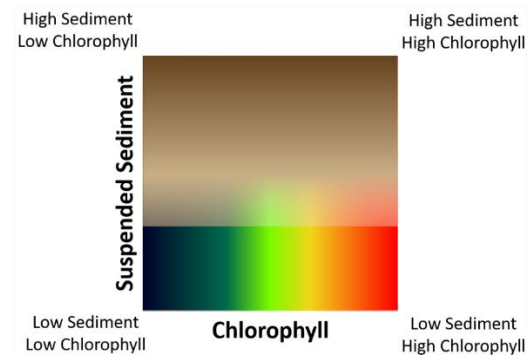
Za detekciju klorofila i sedimenata korištena je javno dostupna programska skripta (Ulyssys Water Quality Viewer, 2020; Zlinszky, Padányi-Gulyás, 2020.) koja sadrži definirane korake za detekciju i izolaciju konstituenata. Sastoji se od:

- korekcijskih filtra,
- maskiranje oblaka (Hollstein, 2016.),
- maskiranje/izdvajanje vodenih površina (McFeeters, 1996.),
- Filtra za detekciju,
- detekcija klorofila (Yacobi, Gitelson, i Mayo, 1995.),
- detekcija sedimenata (Nechad, Ruddick, and Park., 2010.).

Odnos spektralnih pojaseva je definiran na temelju empirijskih jednadžbi. Na taj način se dobivaju korekcijski filteri koji služe za pripremu i čišćenje satelitskih snimaka te se naknadno na procesiranim slikama koriste filteri za detekciju prethodno spomenutih konstituenata. Korištena programska skripta omogućava kalibriranje parametara ulaznih podataka:

- odabir indeksa za korekcijske filtre i filtre za detekciju na temelju korištenog satelita,
- Određivanje granica za korekcijske filtre i filtre za detekciju,
- određivanje grafičkih parametara neoznačenih područja.

Uz korištenje programske skripte, potrebno je pratiti značenje boja na Slici 5.



Slika 5. Analiza filtra klorofila i sedimenata (Ulyssys Water Quality Viewer, 2020.).

5.3.3. Ograničenja kalibracije parametara

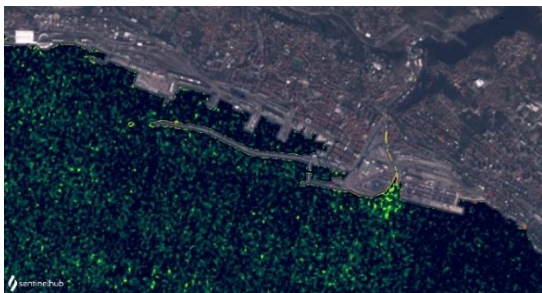
Svako područje iziskuje specifičnu kombinaciju parametara za dobivanje što boljih rezultata. Stoga je potrebno više pokušaja za prilagođavanje programske skripte, te je potrebno pripaziti na neke od mogućih problema (Ulyssys Water Quality Viewer, 2020; Zlinszky, A., Padányi-Gulyás, 2020.):

- magla ili tanki oblaci mogu biti zanemareni od strane korekcijskih filtra te biti detektirani kao sedimenti, usprkos tome što su uočljivi i popravljivi putem smanjenja korekcijskog parametra za oblake,
- sjene oblaka se također lako poprave uz pomoć povećanja korekcijskog parametra za maskiranje vodenih površina,
- visoke koncentracije suspendiranog sedimenta ili klorofila mogu uzrokovati lošu detekciju algoritama i za izlazni podatak prikazati izvornu nefiltriranu satelitsku snimku, u kojem slučaju potrebno je onemogućiti jedan ili oba korekcijska filtra,
- optički signal klorofila i suspendiranog sedimenta ne može se uvijek spektralno razdvojiti ovim metodama. što je slučaj posebice u plitkim vodenim površinama kao što su jezera, kada je potrebno uočiti plitku površinu na prirodnoj satelitskoj slici i ukloniti jedan od detekcijskih filtra,
- tamni kopneni pikseli mogu biti zanemareni od strane korekcijskog filtra za mapiranje vodenih površina, te je tada potrebno povećati osjetljivost tog filtra.

5.4. Interpretacija rezultata

Putem stranice 'Sentinel Hub' preuzete su satelitske snimke za veljaču i rujan 2019. godine. Parametri za prikaz klorofila i sedimenata kalibrirani su radi bolje analize slika zbog čega slike imaju pojačane boje. Iz slika 6 i 7 može se uočiti puno veća prisutnost klorofila u veljači u odnosu na rujan i to najviše na ušću rijeke Rječine. Sedimenti se vrlo loše vide na obje slike, a 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. Naime, 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 projekta istraživanja kvalitete mora potrebno je izvršiti puno više uzorkovanja za dobivanje svih prethodno spomenutih indikatora kvalitete mora, te sve popratiti analizama satelitskih slika.



Slika 6. Sentinel-hub fotografija iz veljače 2019. godine (Sentinel-hub, 2019.).



Slika 7. Sentinel-hub fotografija iz rujna 2019. godine (Sentinel-hub, 2019.).

6. Zaključak

Onečišćenje mora i općenito okoliša je već duže

vrijeme izazovan problem, a nova tehnologija pruža i nove načine i rješenja u sprječavanju prirodnih katastrofa te bi se ovim metodama mogla bolje regulirati onečišćena mjesta kao što su luke. Republika Hrvatska još uvijek sustavno ne prikuplja podatke vezane za luke i ne prati količinu onečišćenja koja proizlazi i iz lučke djelatnosti. Zabrinjavajuće je što se kod takvih visoko onečišćenih prostora ne potiče reguliranje u svrhu zaštite okoliša, te biljnog i životinjskog svijeta. Hrvatska je prije svega turistička zemlja, pa se upravo tome i pridaje velika pažnja tako što postoje javni podaci o kakvoći mora za kupanje, dok se ostali dio zanemaruje.

Morski svijet zauzima glavninu prostora na planeti Zemlji te je vrijeme za promjenu na bolje i korištenje dostupnih novih tehnologija za efikasnije reguliranje onečišćenih prostora. Daljinsko istraživanje je metoda koja postoji već dugi niz godina, no neprestano se stvaraju novi alati koji omogućuju slobodu u kreativnom rješavanju aktualnih problema u svijetu. Tehnologije prikazane u radu imaju širok spektar primjene te se autori zalažu za njihovu implementaciju u zaštiti mora.

Literatura

Acciaro, M.; Ghiara, H.; Cusano, M.I. (2014). Energy management in seaports: A new role for port authorities. *Energy Policy*, 71, 4–12.

Burdall, A.C.; Williamson, H.J. (1991). A green port: An engineer's view. In *Ports into the Next Century*; Ford, C.R., Ed.; Thomas Telford Limited: London, UK, pp. 247–259.

Campbell, J.B. and Randolph H. W. (2011). *Introduction to remote sensing*

Chang, N.B., Sanaz, I., Vannah, B. (2015). Remote Sensing for Monitoring Surface Water Quality Status and Ecosystem State in Relation to the Nutrient Cycle: A 40-Year Perspective. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(2), 101–166. doi:10.1080/10643389.2013.829981

Copernicus, Sentinels:
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>;
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/data-products/olci>;

- Donau, V. Danube Ports (2010). <http://www.danubeports.info>
- EO Dashboard: <https://eodashboard.org/>
- Feng, S.C., Ting, J.M., Lei, Y.J., Cuijuan, H., Li, C.C. (2009). The strategies and proposals for ecological port construction in China in Journal US-China Public Administration ,Volume 6, No 7 (Serial No 50).
- Gholizadeh, M., Assefa H, Melesse, M. and Reddi, L.. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques." *Sensors* 16.8, 1298.
- Hellweger, F.L.; Schlosser, P.; Lall, U.; Weissel, J.K. (2004). Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 61, 437–448. [CrossRef]
- Hollstein, A., et al. (2016). "Ready-to-use methods for the detection of clouds, cirrus, snow, shadow, water and clear sky pixels in Sentinel-2 MSI images." *Remote Sensing* 8.8, 666.
- Klein, M.; Zviely, D. (2001). The environmental impact of marina development on adjacent beaches: A case study of the Herzliya marina, Israel. *Appl. Geogr.* 2001, 21, 145–156.
- Kloff, S., Wicks, C. (2004). 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.
- Lary, D.J., et al. (2016). Machine learning in geosciences and remote sensing. *Geoscience Frontiers* 7.1, 3-10.
- Lee, C.M. (2014). Remote sensing workshop: How can remote sensing be used for water quality monitoring?, https://acwi.gov/monitoring/conference/2014/1ExtendedSessions/L8/Lee_RemoteSensingWorkshop.pdf
- Mateo-Pérez, Vanesa, et al. (2020). Port bathymetry mapping using support vector machine technique and sentinel-2 satellite imagery." *Remote sensing* 12.13, 2069.
- McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing* 17.7, 1425-1432.
- NASA ARSET: Fundamentals of Aquatic Remote Sensing, 2020.: https://www.youtube.com/watch?v=1TBtJ8pTANQ&t=66s&ab_channel=NASAVideo
- NASA Worldview: <https://worldview.earthdata.nasa.gov>
- Nechad, B., Ruddick, K.G. and Park, Y. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment* 114.4, 854-866.
- 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>
- Pavlic, B.; Cepak, F.; Sucic, B.; Peckaj, M.; Kandus, B. (2014). Sustainable port infrastructure, practical implementation of the green port concept. *Therm. Sci.*, 18, 935–948.
- Puig, M.; Wooldridge, C.; Darbra, R.M. (2014). Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development. *Mar. Pollut. Bull.*, 81, 124–130.
- Sentinel-hub: <https://apps.sentinel-hub.com>
- Sipelgas, L., et al. (2018). Water quality near Estonian harbours in the Baltic Sea as observed from entire MERIS full resolution archive. *Marine Pollution Bulletin* 126, 565-574.
- Topp, S.N., et al. (2020). Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: Moving towards multidisciplinary applications. *Water* 12.1, 169.
- Ulyssys Water Quality Viewer, (2020). https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ulyssys_water_quality_viewer

Wang, L.; Wang, N. (2007). The Interaction Development between Port Cluster and City Based on Green Conception. In Proceedings of the International Conference on Transportation Engineering (ICTE), Chengdu, China, pp. 1873–1878.

Wooldridge, C.F.; McMullen, C.; Howe, V. (1999). Environmental management of ports and harbours—implementation of policy through scientific monitoring. *Mar. Policy*, 23, 413–425.

Yacobi, Y. Z., Gitelson, A. and Mayo, M. (1995). Remote sensing of chlorophyll in Lake Kinneret using highspectral-resolution radiometer and Landsat TM: spectral features of reflectance and algorithm development. *Journal of Plankton Research* 17.11, 2155-2173.

Yang, H., et al. (2022). A Review of Remote Sensing for Water Quality Retrieval: Progress and Challenges." *Remote Sensing* 14.8, 1770.

Zhongqiang, W. Zihua M., and Wen, S. (2021). Integrating Multiple Datasets and Machine Learning Algorithms for Satellite-Based Bathymetry in Seaports. *Remote Sensing* 13.21, 4328.

Zlinszky, A.; Padányi-Gulyás, G. (2020). Ulyssys Water Quality Viewer Technical Description Supplementary. Preprints, 2020010386 (doi: 10.20944/preprints202001.0386.v1).

monitoring and achieve a more efficient control of marine areas, thus enhancing ports sustainability. The paper provides an overview of available tools for the analysis of seawater quality and elaborates the potential of remote sensing of the quality of marine environment in the Port of Rijeka, the major port in the Republic of Croatia.

Keywords: *green ports; marine pollution; remote sensing; satellite images; seawater quality analysis; Port of Rijeka.*

Evaluation of seawater quality in ports using remote sensing method

Abstract

Ports have high economic importance, but they are at the same time a significant source of pollution, originating either from ship cargo or from waste produced on board ships. The concept of a green port applies as a new paradigm that endeavours to align port activities with environmental and social matters without jeopardizing economic growth and is as such a synonym for sustainable ports. Along with indispensable introducing of regular sea sampling in the port, new available technologies such as remote sensing should be applied in order to improve water quality