

Fluvijalni taložni okoliši - primjeri iz sliva rijeke Rječine

Malkoč, Vanesa

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:090592>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Vanesa Malkoč

Fluvijalni taložni okoliši – primjeri iz sliva rijeke Rječine

Završni rad

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Prijediplomski stručni studij
Građevinarstvo
Primijenjena geologija**

**Vanesa Malkoč
JMBAG: 0114032143**

Fluvijalni taložni okoliši – primjeri iz sliva rijeke Rječine

Završni rad

Rijeka, rujan 2024.

IZJAVA

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Vanesa Malkoč

Vanesa Malkoč

U Rijeci, 12.09.2024.

Zahvala

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Petri Jagodnik na svim stručnim savjetima i smjernicama koji su mi pomogli tijekom izrade završnog rada.

Veliko hvala mojim roditeljima što su mi omogućili sve, te što su me poticali i pružali mi podršku tijekom studija. Posebno hvala mojim sestrama na velikoj podršci.

Sažetak

Udolina rijeke Rječine je relativno malo područje smješteno u zaleđu grada Rijeke, no obilježeno raznolikošću geomorfoloških procesa i fluvijalnih taložnih okoliša oblikovanih u recentno doba i kroz geološku prošlost. U ovom završnom radu dan je pregled tipova i procesa nastanka fluvijalnih taložnih okoliša, a zatim prikazan karakterističan izgled tipičnih fluvijalnih taložnih okoliša u udolini rijeke Rječine identificiranih na digitalnom modelu reljefa izrađenom iz podataka laserskog skeniranja iz zraka. Digitalni model reljefa prostorne rezolucije 1 x 1 m izrađen je primjenom LiDAR tehnologije u okviru trogodišnjeg projekta zračnog snimanja Republike Hrvatske. Na morfometrijskim kartama izvedenima iz digitalnog modela reljefa provedena je vizualna identifikacija recentnih aluvijalnih ravnica, aluvijalnih terasa i proluvijalnih lepeza na pilot području u udolini rijeke Rječine.

Ključne riječi: fluvijalni taložni okoliš, udolina Rječine, digitalni model reljefa, LiDAR, aluvijalna ravnica, aluvijalna terasa, proluvijalna lepeza

Abstract

The Rječina River valley is a relatively small area located in the hinterland of the city of Rijeka, but it is characterized by a diversity of geomorphological processes and fluvial depositional environments formed both in recent times and through geological history. This thesis provides an overview of the types and formation processes of fluvial depositional environments and then presents the characteristic appearance of typical fluvial depositional environments in the Rječina River valley, identified on a digital elevation model created from airborne laser scanning data. The digital elevation model, with a spatial resolution of 1 x 1 meter, was produced using LiDAR technology as a part of a three-year aerial survey project of the Republic of Croatia. Morphometric maps derived from the digital elevation model were used for the visual identification of recent alluvial plains, alluvial terraces, and proluvial fans in the pilot area of the Rječina River valley.

Keywords: fluvial landform, Rječina River Valley, Digital Elevation Model, LiDAR, alluvial plain, alluvial terrace, proluvial fan

Sadržaj

| | |
|---|----|
| Popis slika..... | 1 |
| 1. Uvod..... | 3 |
| 2. Fluvijalni taložni okoliši..... | 4 |
| 2.1. Aluvijalne ravnice..... | 6 |
| 2.2. Aluvijalne terase..... | 7 |
| 2.3. Aluvijalne lepeze..... | 9 |
| 3. Udolina rijeke Rječine..... | 10 |
| 3.1. Geografska obilježja..... | 11 |
| 3.2. Geološka građa..... | 12 |
| 4. Materijal i metode..... | 15 |
| 4.1. Pilot područje u udolini rijeke Rječine..... | 15 |
| 4.2. Digitalni model reljefa visoke rezolucije..... | 16 |
| 4.3. Vizualna interpretacija digitalnog modela reljefa..... | 17 |
| 5. Identifikacija fluvijalnih taložnih okoliša..... | 21 |
| 5.1. Recentna aluvijalna ravnica..... | 21 |
| 5.2. Aluvijalne terase..... | 22 |
| 5.3. Proluvijalne lepeze..... | 23 |
| 6. Diskusija i zaključak..... | 26 |
| 7. Literatura..... | 27 |

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1: Transport sedimenata (preuzeto iz [2]). | 5 |
| Slika 2: Shematski prikaz taloženja aluvijalnih lepeza, te okoliša meandrirajućih, prepletenih i anastomoznih rijeka (preuzeto iz [1]). | 6 |
| Slika 3: Ilustracijski prikaz nastajanja aluvijalne ravnice (preuzeto iz [4]). | 7 |
| Slika 4: Proces nastajanja aluvijalnih terasa: a) široka poplavna ravnica rijeke; b) erodiranje rijeke i nastanak nove poplavne ravnice na nižoj razini, a ostaci stare ravnice su riječne terase; c) ponovno erodiranje rijeke i nastanak dodatne riječne terase (modificirano prema [4]). | 8 |
| Slika 5: Aluvijalna lepeza (preuzeto iz [6]). | 9 |
| Slika 6: Pogled na udolinu Rijeke Rječine i jezero Valići (preuzeto iz [10]). | 10 |
| Slika 7: Vodotok Rječine (preuzeto iz [10]). | 11 |
| Slika 8: Situacijski prikaz sliva vodotoka Rječine (preuzeto iz [12]). | 12 |
| Slika 9: Geološka karta sliva vodotoka Rječine: (A) geografski položaj; (B) karta visina iz digitalnog elevacijskog modela terena 25 m x 25 m; C) geološka karta (preuzeto iz [14]). | 13 |
| Slika 10: Poprečni geološki presjek srednjeg dijela toka Rječine: 1 – karbonatne stijene; 2 – fliš (Paleogenski muljeviti lapor, škriljac i pješčenjak); 3 – padinske tvorevine (koluvij); 4 – aluvijalni sedimenti; I – relativno stabilna stijenska masa; II – odvojeni megablok; III – klizanje blokova; IV – umirena kamena lavina; V – aktivno klizište (preuzeto iz [13]). | 14 |
| Slika 11: Pilot područje u udolini rijeke Rječine na kojem je provedena vizualna identifikacija fluvijalnih taložnih okoliša, prikazano na topografskoj karti M 1:25000. | 15 |
| Slika 12: 3D prikaz oblaka točaka prikupljenih laserskim skeniranjem iz zraka LiDAR tehnologijom (preuzeto iz [17]). | 16 |
| Slika 13: LiDAR metoda snimanja iz zraka (preuzeto iz [18]). | 17 |
| Slika 14: Karta osjenčanog reljefa pilot područja u udolini Rječine izvedena iz DMR-a. | 18 |
| Slika 15: Karta nagiba pilot područja u udolini Rječine izvedena iz DMR-a: zelena boja – ravni dijelovi terena, smeđa boja – strmi nagibi padina. | 19 |
| Slika 16: Karta slojnica pilot područja u udolini Rječine s ekvidistancijom slojnica 5 m, izvedena iz DMR-a. | 20 |

| | |
|--|----|
| Slika 17: Aluvijalne ravnice u blizini naselja Martinovo selo na karti nagiba i karti slojnica sa ekvidistancijom slojnica 5 m. | 21 |
| Slika 18: Aluvijalne ravnice na karti nagiba, karti slojnica sa ekvidistancijom slojnica 2 m i karti osjenčanog reljefa kod naselja Zoretići. | 22 |
| Slika 19: Prikaz aluvijalnih terasa uz aluvijalne ravnice na karti osjenčanog reljefa i karti nagiba blizini naselja Milaši. | 22 |
| Slika 20: Aluvijalne terase uz aluvijalne ravnice kod naselja Zoretići na karti nagiba i karti osjenčanog reljefa. | 23 |
| Slika 21: Jaruge na karti nagiba udoline Rječine izvedene iz DMR-a. | 24 |
| Slika 22: Proluvijalne lepeze u blizini naselja Kukuljani na karti nagiba i karti slojnica sa ekvidistancijom slojnica 1m. | 24 |
| Slika 23: Proluvijalne lepeze u blizini naselja Trnovica na karti nagiba i karti slojnica sa ekvidistancijom slojnica 1 m. | 25 |

1. UVOD

Rječina je rijeka velikog bujičnog toka duljine 18,7 km smještena u Primorsko-goranskoj županiji, u zaleđu grada Rijeke. Smještena je u udolini koja, u geološkom smislu, predstavlja kompleksni okoliš kao rezultat različitih tipova osnovne stijene i površinskih naslaga. Rijeka Rječina protječe kroz relativno uski flišni udolinski prostor, dok su bokovi udoline rijeke Rječine izrađeni od karbonatnih sedimentnih stijena. Izvor Rječine smješten je 2,5 kilometara udaljenosti od naselja Kukuljani, dok se ušće nalazi u samom gradu Rijeci. Rijeka Rječina ima važnu vodoopskrbnu i hidroenergetsku ulogu.

Fluvijalni taložni okoliši nastaju taloženjem sedimenata koji su preneseni vodama riječnih sustava, te razlikujemo više vrsta fluvijalnih okoliša. U ovom završnom radu obrađene su aluvijalne ravnice, aluvijalne terase i aluvijalne lepeze.

Praktični dio izrade završnog rada temelji se na identifikaciji fluvijalnih taložnih okoliša na morfometrijskim kartama izvedenih iz digitalnog modela reljefa udoline rijeke Rječine.

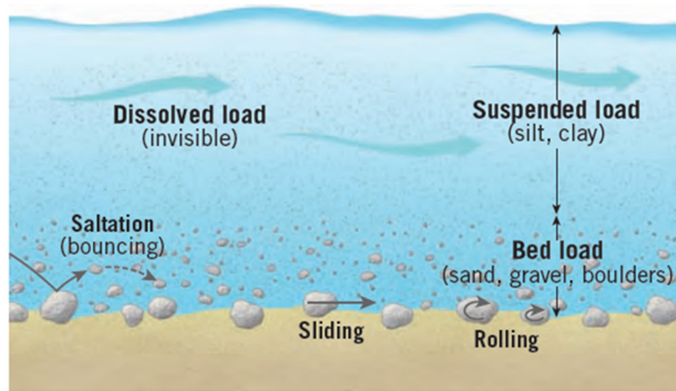
Digitalni model reljefa (DMR) korišten u ovom radu je nacionalni DMR izrađen za teritorij Republike Hrvatske u prostornoj rezoluciji 1 m x 1 m, u okviru projekta „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“.

2. FLUVIJALNI TALOŽNI OKOLIŠI

Sedimenti koji su nastali nakupljanjem krupnozrnastih ili sitnozrnastih taloga zbog djelovanja rijeka nazivaju se fluvijalnim taložnim okolišima (od latinskog fluvius, što u prijevodu znači rijeka). Fluvijalni taložni okoliši imaju važnu ulogu u oblikovanju krajolika i formiranju raznih geoloških i geomorfoloških struktura [1].

Sedimentacija je temeljni proces koji nastaje uslijed procesa erozije, transporta različitih vrsta sedimenata (od sitnih čestica poput gline i mulja, pa sve do većih poput pijeska, šljunka i kamenja) i taloženja materijala kojeg prenose vode tekućice. Riječni sustavi se mogu podijeliti u tri zone prema vrsti procesa koji dominira u svakoj do njih, a to su proizvodnja sedimenta, transport i taloženje sedimenta. Bez obzira na to koji od procesa prevladava, sediment se erodira, prenosi i taloži duž cijele dužine rijeke. Zona proizvodnje sedimenta nalazi se na području izvora rijeke, a većina sedimenata je u početku stijena koja se postepeno razgrađuje zbog vremenskog utjecaja [2].

Bujični vodotok može prenositi krupne i sitne sedimente, pri čemu se sitne čestice prenose u vodenoj suspenziji, dok se krupne čestice odbijaju i kotrljaju duž korita rijeke. Kada se smanji brzina vodotoka, na što mogu utjecati blaži nagibi korita ili proširenje kanala čime se povećava trenje između vode i korita, tada se smanjuje i sposobnost prijenosa sedimenta i dolazi do taloženja. Veličina čestica koje se talože na određenoj lokaciji ovisi o tome koliko se smanjila brzina toka na istoj lokaciji. Na primjer, prilikom malog usporenja toka, talože se samo krupne čestice, a ako se tok rijeke uspori gotovo do zastoja, talože se samo sitne čestice [3].

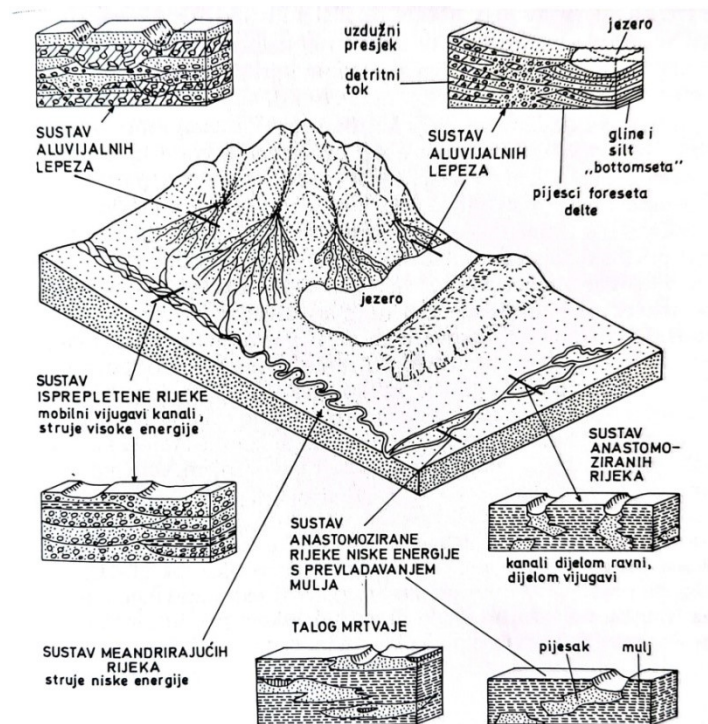


Slika 1: Transport sedimenata (preuzeto iz [2]).

Sedimenti se prilikom transporta mogu podijeliti na otopljeni nanos, suspendirani nanos i nanos korita. Otopljeni nanos čine sedimenti koji se otapaju, suspendirani nanos se sastoji od čvrstih čestica koje se zadržavaju u vodi zbog utjecaja turbulencije, dok se nanos korita sastoji od čestica pijeska i šljunka koje su prevelike da bi bile podignute iznad korita, pa se one kotrljaju na dnu [3].

Sposobnost rijeke da prenosi sediment, geolozi opisuju pojmovima kompetencija i kapacitet. Kompetencija rijeke označava maksimalnu veličinu čestica koje ona može nositi, što znači da rijeka sa visokom kompetencijom može nositi velike čestice, a rijeka sa niskom kompetencijom može nositi samo male čestice. Brzina vode ima utjecaj na kompetenciju rijeke, na primjer turbulentna rijeka ima veću kompetenciju, može nositi veće čestice, u odnosu na sporu rijeku. Kapacitet rijeke ovisi o kompetenciji i otjecanju, te se odnosi na ukupnu količinu sedimenta koju može nositi [3].

Aluvijalni sustavi se razlikuju po okolišima i načinu taloženja, a neki od važnijih su aluvijalne lepeze, okoliši meandrirajućih rijeka, okoliši prepletenih rijeka, okoliši rijeka s račvanjem korita, te okoliši područja između riječnih korita [4].



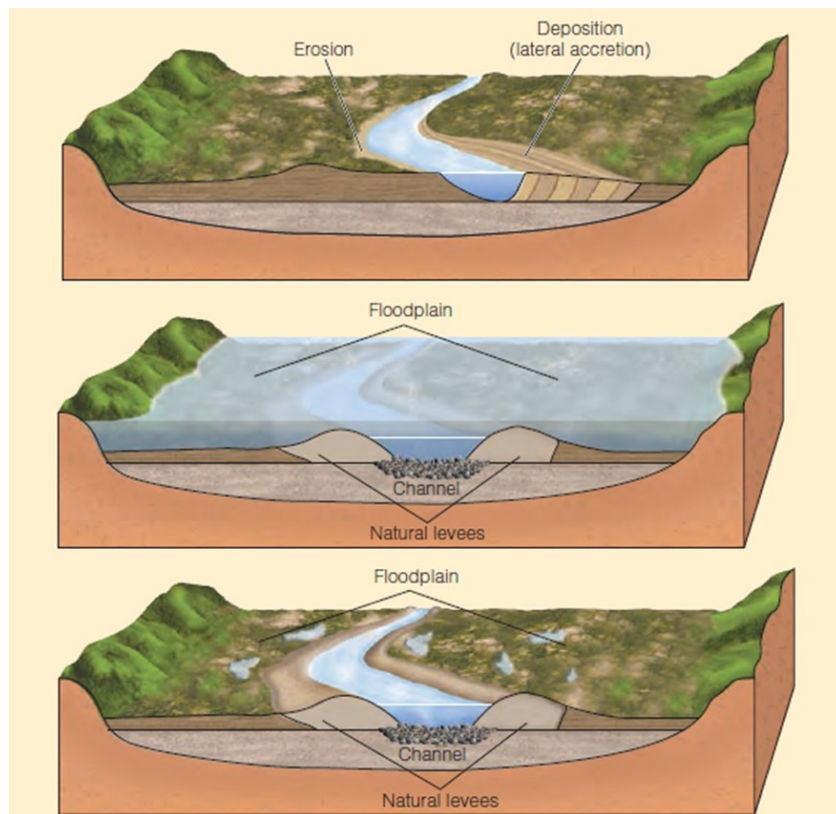
Slika 2: Shematski prikaz taloženja aluvijalnih lepeza, te okoliša meandrirajućih, prepletenih i anastomoznih rijeka (preuzeto iz [1]).

Fluvijalni taložni okoliši imaju važnu ulogu u ekosustavima zbog pružanja staništa mnogim biljkama i životinjama. Također, ovi okoliši su važni i za ljudsku zajednicu jer osiguravaju razne resurse kao što su voda, plodno tlo i građevinski materijali.

2.1. Aluvijalne ravnice

Aluvijalne ravnice su najniži dijelovi riječnih dolina nastale prelijevanjem rijeke iz korita u okolnu ravninu [3].

Aluvijalne ravnice nastaju poplavlivanjem rijeke, odnosno prilikom njenog napuštanja korita i širenja na poplavnu ravninu, široko ravno područje uz rijeku. Trenje usporava vodu na ravnici, što smanjuje mogućnost vode da nosi sediment, pa se suspendirani nanos prenijet iz viših dijelova rijeke, taloži i stvaraju se naslage. Poplavne ravnice većinom završavaju na svojim stranama uz odron ili strminu, dok velike poplave mogu pokriti cijelu poplavnu ravninu od odrona do odrona. Ponavljanje ovog procesa rezultira slojevitom strukturom ravnice [3].



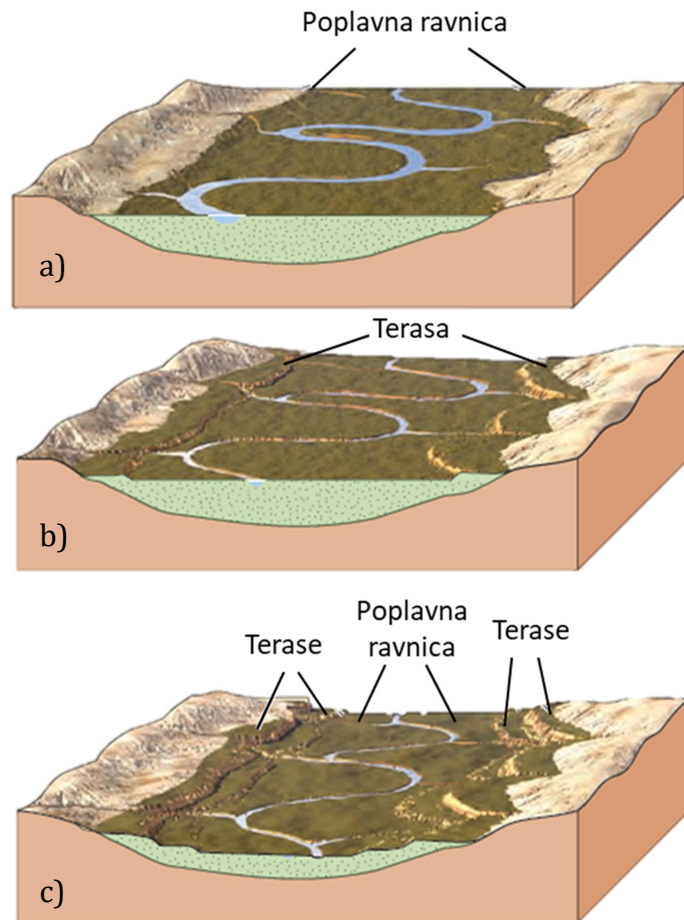
Slika 3: Ilustracijski prikaz nastajanja aluvijalne ravnice (preuzeto iz [4]).

Aluvijalne ravnice su važne za poljoprivredu zbog svoje plodnosti, a bogata vegetacija pomaže u stabilizaciji tla i sprječavanju erozije.

2.2. Aluvijalne terase

Aluvijalne terase se mogu definirati kao erozijski ostaci aluvijalnih ravnica koje su nastale kada je rijeka tekla na višoj razini. Sastoje se od prilično ravne gornje površine i strmog nagiba koji se spušta na nižu razinu nove poplavne ravnice [4].

Iako sve riječne terase nastaju uslijed erozije, one su prethodno bile rezultat formiranja poplavnih ravnica i taloženja sedimenata u više navrata. Naknadna erozija je uzrok usijecanja rijeke sve dok ona ponovno ne postigne ravnotežu. Zatim, kada je rijeka uravnotežena, ona počinje bočno erodirati i time stvara novu poplavnu ravnica na nižoj razini. Više razina terasa pokazuje ponavljanje tog procesa [4].



Slika 4: Proces nastajanja aluvijalnih terasa: a) široka poplavna ravnica rijeke; b) erodiranje rijeke i nastanak nove poplavne ravnice na nižoj razini, a ostaci stare ravnice su riječne terase; c) ponovno erodiranje rijeke i nastanak dodatne riječne terase (modificirano prema [4]).

Riječne terase se nalaze na različitim visinama, čime pokazuju prethodne razine riječnog korita. Kada se riječne terase nalaze na istoj nadmorskoj visini na objema obalama rijeke, nazivaju se uparenim terasama [5].

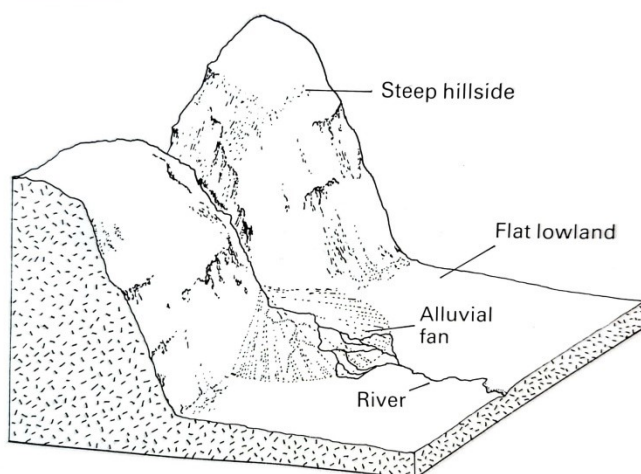
Prema mjestu nastajanja, postoje tri vrste aluvijalnih terasa:

- riječne terase – one se formiraju direktno uz rijeku, te su rezultat kombinacije taloženja i erozije
- valovite terase – nastaju na mjestima vijuganja rijeke, odnosno na mjestima gdje rijeka meandrira, u unutarnjim zavojima
- terase uz fjordove – mogu nastati uz obalnu liniju u područjima toka rijeke prema moru

2.3. Aluvijalne lepeze

Najizraženije aluvijalne sedimentne naslage su aluvijalne lepeze koje oblikom podsjećaju na stožac. Nastaju taloženjem sedimentata kada riječni tok izlazi iz uskih planinskih dolina u šira ravničarska područja. Zbog strmih nagiba planinski potoci prenose veći dio sedimentata poput krupnog pijeska i šljunka. Voda koja teče preko aluvijalnih lepeza lako se upija jer su lepeze formirane od istog materijala [2].

Dimenzije i oblici sedimentnih tijela aluvijalnih lepeza ovise o površini slivnog područja planinskog riječkog sustava, intenzitetu fizikalnog trošenja stijena te količini i energiji vode riječnog sustava. Mogu biti manjih i većih dimenzija, površine od nekoliko desetaka metara sve do nekoliko kilometara. Gornji dio aluvijalnih lepeza karakteriziraju krupnozrnati šljunci, dok u nižim dijelovima postepeno prevladavaju pijesci i siltozni detritusi [1].



Slika 5: Aluvijalna lepeza (preuzeto iz [6]).

Na slici 5 može se vidjeti uobičajeni primjer gdje se aluvijalna lepeza formirala u podnožju niza strmih brežuljaka.

3. UDOLINA RIJEKE RJEČINE

Rijeka Rječina je krška rijeka u primorskoj Hrvatskoj sa duljinom toka 18,7 km i predstavlja glavni vodotok riječkog područja. Prosječna širina udoline Rječine je oko dva kilometra, a vapnenačka uzvišenja koja ju okružuju dosežu visine do 500 metara [7].

Dolina Rječine je jedna od geomorfoloških cjelina područja grada Rijeke koja objedinjava područja Kastva, Zameta, Drenove, Rijeke, Sušaka i Drage. Nastala je procesima erozije i sedimentacije tijekom tisućljeća, što je uzrok stvaranja plodne doline okružene planinskim padinama [8].

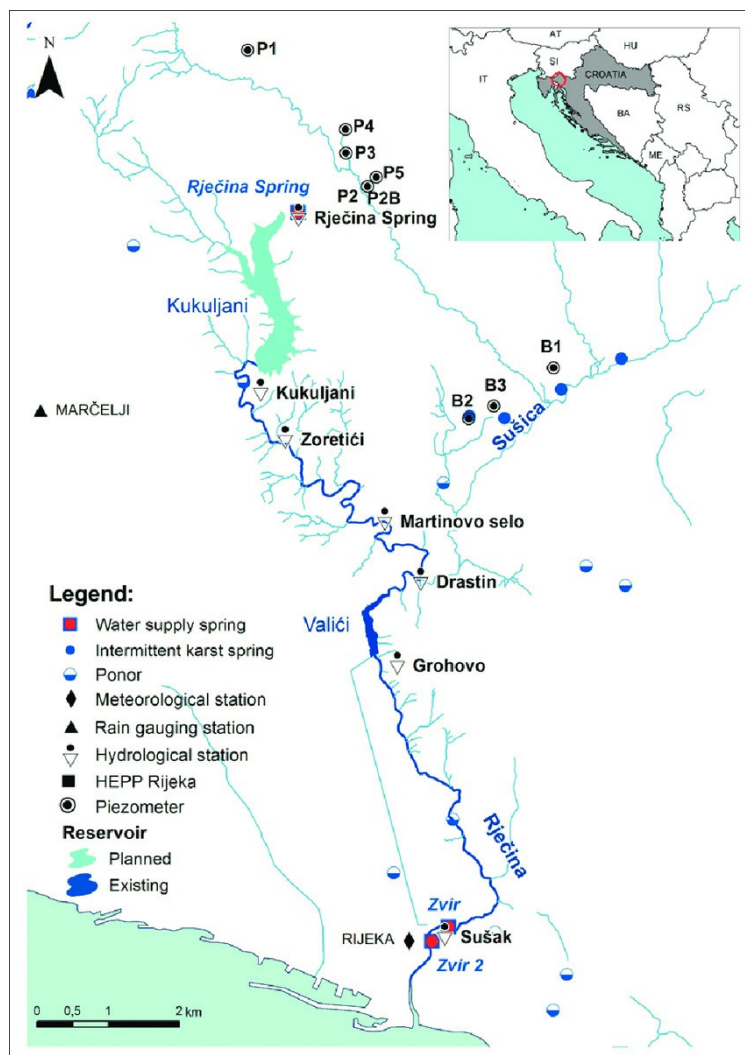
Rječina zbog svog velikog vodnog potencijala, primjerene kakvoće vode i povoljnog energetskog položaja u odnosu na grad Rijeku, ima razne važne funkcije poput vodoopskrbne (izvor, Zvir, Zvir II), hidroenergetske, rekreativne (izletišta, sportski ribolov) i pogonske (mlin u Martinovom selu) [9].

Tok rijeke Rječine se zbog različitih obilježja može podijeliti na gornji i donji tok. U gornjem toku rijeka teče otvorenom flišnom dolinom, a u donjem dijelu toka protječe kroz vapnenačke stijene, stvarajući kanjonsku dolinu. Vodotok Rječine ima tri različita hidrološka sustava. U gornjem dijelu toka do akumulacije Valići vodotok presuši samo tijekom ljetnih mjeseci, dok je nizvodno do vrela Zvir korito Rječine većinom posve bez vode osim za vrijeme jakih kiša. Dio od vrela Zvir do ušća ima stalan vodotok zbog drugih manjih pritoka i izvora [9].



Slika 6: Pogled na udolinu Rijeke Rječine i jezero Valići (preuzeto iz [10]).

Izvor Rječine se za vodoopskrbu Rijeke koristi od 1915. godine, a kod sela Grohovo je 1967. godine izgrađena brana za Hidroelektranu Rijeka čime je i nastalo umjetno jezero Valići [9].



Slika 7: Vodotok Rječine (preuzeto iz [10]).

3.1. Geografska obilježja

Rječina je smještena unutar zapadnog dijela tektonske pukotine Novi Vinodolski – Klana, te pokriva površinu od dvjestotinjak četvornih kilometara. Izvor Rječine nalazi se u Gorskom kotaru, oko 2,5 km sjeverno od naselja Kukuljani, na hipsometrijskoj visini od 325 m.n.m. i teče prema jugozapadu, gdje se ulijeva u Riječki zaljev [11].



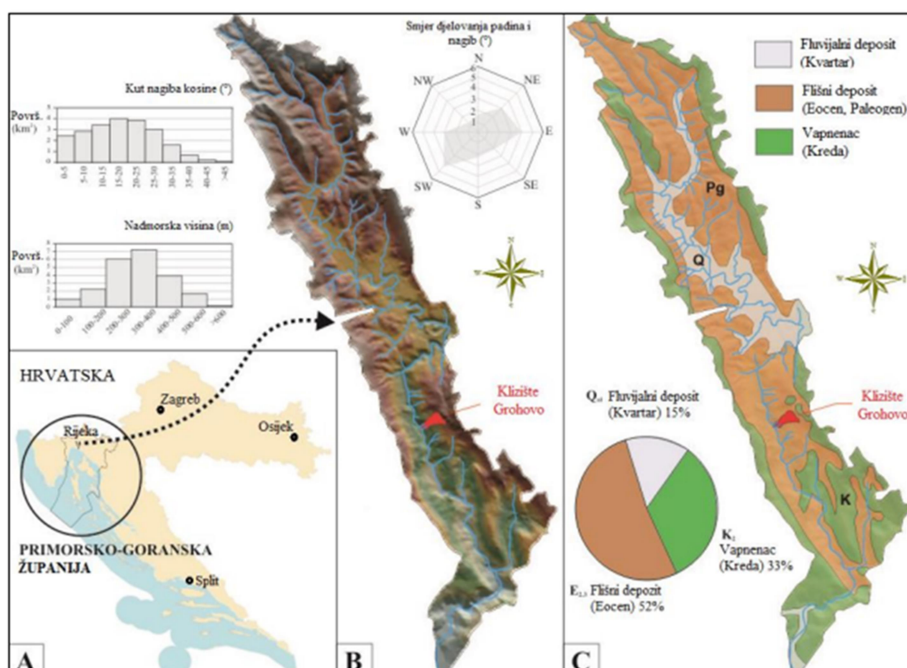
Slika 8: Situacijski prikaz sliva vodotoka Rječine (preuzeto iz [12]).

Dva značajnija pritoka Rječine su Sušica i Zvir, a osim njih slijevaju se i vode brojnih potoka i izvora čime tvore zelenu destinaciju usred krša. Sušica je povremeni vodotok koji prikuplja vode sa ruba Grobničkog polja, a zatim utječe u Rječinu uzvodno od akumulacije Valići. Veličina sliva Sušice iznosi oko 31 km², te većinu površine čini krš. Zvir je glavno riječko izvorište smješteno u donjem dijelu toka Rječine. Preljevne vode koje utječu u Zvir koriste se u punoj mjeri za vrijeme presušivanja izvora Rječine [9].

3.2. Geološka građa

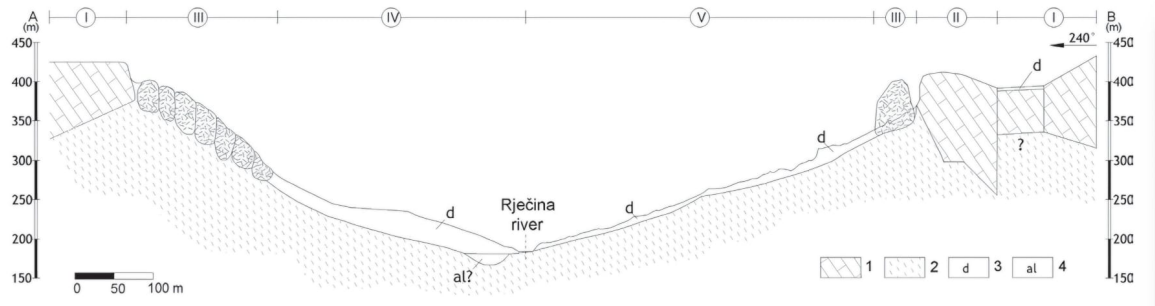
Tok Rječine protječe kroz dva područja različitih geomorfoloških jedinica od kojih svaka ima različitu geološku građu. Podno strme vapnenačke litice na sjeveroistočnom doticaju siliciklastičnih i karbonatnih stijena, nalazi se izvor Rječine na nadmorskoj visini od 325 metara. Područje od izvora rijeke, pa sve do ulaza u kanjon kod naselja Pašac, oblikovano je u prilično uskoj zoni paleogenskih siliciklastičnih stijena koja je sa jugozapadne i sjeveroistočne strane uokvirena

vapnenačkim stijenama paleogena i gornje krede, te je dio dominantne morfostrukturne jedinice Ilirska Bistrica – Klana – dolina Rječine – Sušačka Draga – Bakarski zaljev – Vinodolska dolina [13].



Slika 9: Geološka karta sliva vodotoka Rječine: (A) geografski položaj; (B) karta visina iz digitalnog elevacijskog modela terena 25 m x 25 m; (C) geološka karta (preuzeto iz [14]).

Flišnu ili siliciklastičnu osnovnu stijenu predstavlja velika litološka heterogenost zbog čestog vertikalnog i lateralnog izmjenjivanja raznovrsnih litoloških članova poput lapora, siltita, šejlova i sitnozrnastih pješčenjaka. Flišna stijenska masa ima slabu vodopropusnost, te je sklona raspadanju i eroziji. Kao posljedica toga, stvorena je zona fizičko-kemijskog raspadanja formirana od mješavine gline, praha, pijeska i odlomaka do blokova pješčenjaka. Postepeno su se krupnozrnati sedimenti podrijetlom iz sipara pomiješali sa glinom iz zone raspadanja osnovne stijenske mase, što je razlog nastanka potencijalno nestabilne padinske tvorevine višemetarske debljine [13].

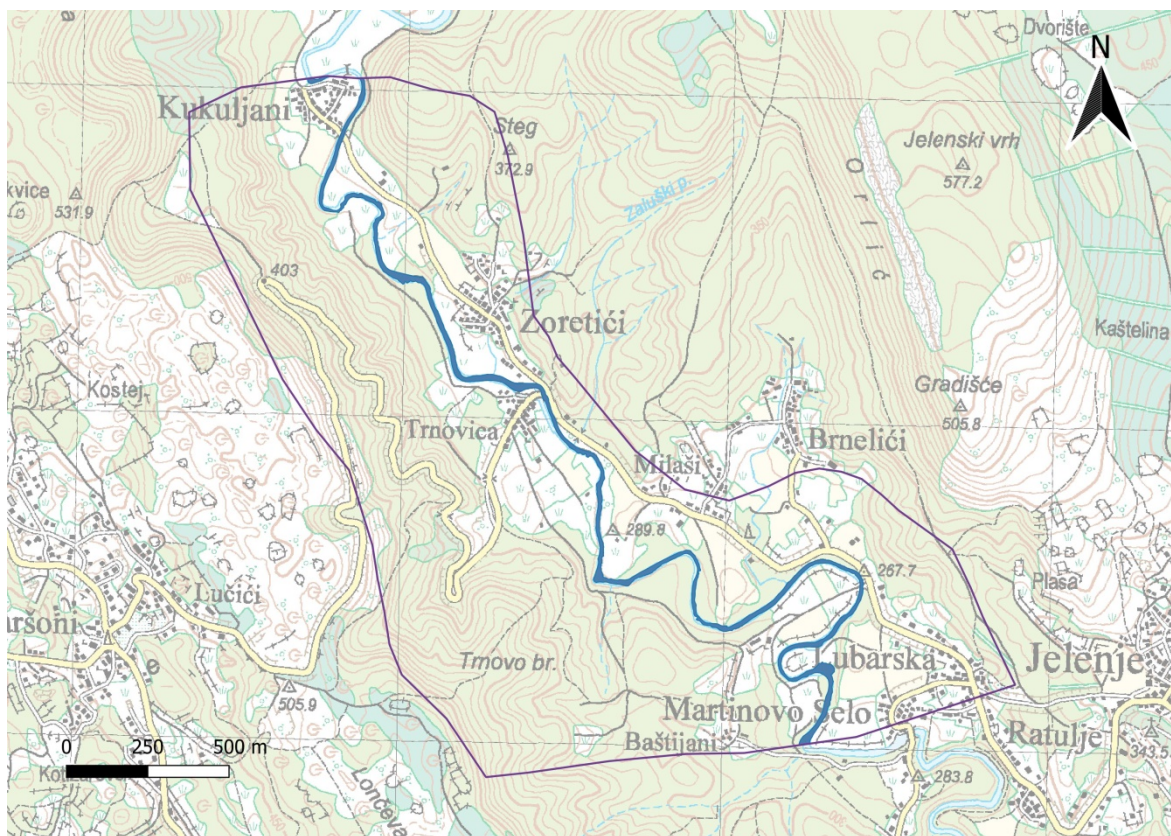


Slika 10: Poprečni geološki presjek srednjeg dijela toka Rječine: 1 – karbonatne stijene; 2 – fliš (Paleogenski muljeviti lapor, škriljac i pješčenjak); 3 – padinske tvorevine (koluvij); 4 – aluvijalni sedimenti; I – relativno stabilna stijenska masa; II – odvojeni megablok; III – klizanje blokova; IV – umirena kamena lavina; V – aktivno klizište (preuzeto iz [13]).

4. MATERIJAL I METODE

4.1. Pilot područje u udolini rijeke Rječine

Pilot područjem u udolini Rječine na kojem je provedena vizualna identifikacija fluvijalnih taložnih okoliša obuhvaća površinu 2,5 km². Rasprostire se između naselja Kukuljani na sjeverozapadu i Martinovo Selo na jugoistoku. Obuhvaća šest manjih naselja. Duljina toka rijeke Rječine u pilot području iznosi oko 4 km. Vodotok protječe smjerom SZ-JI i u najvećem dijelu meandrirajući. Najveći meandri oblikovani su između naselja Milaši i Martinovo Selo. U geološkom smislu, pilot područje obuhvaća padine izgrađene od flišnih naslaga te središnji udolinski dio prekriven površinskim naslagama fluvijalnog tipa.

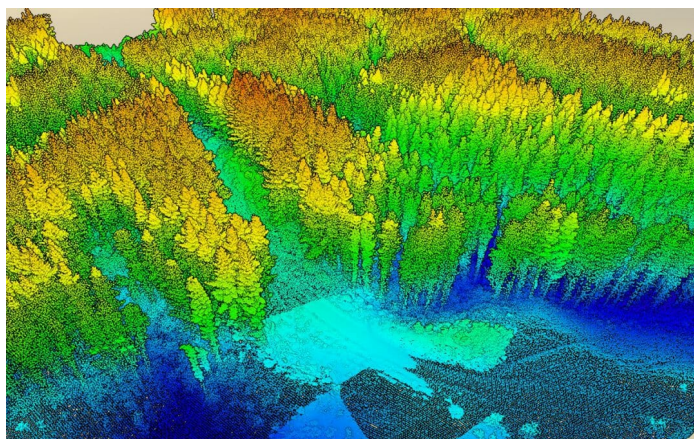


Slika 11: Pilot područje u udolini rijeke Rječine na kojem je provedena vizualna identifikacija fluvijalnih taložnih okoliša, prikazano na topografskoj karti M 1:25000.

4.2. Digitalni model reljefa visoke rezolucije

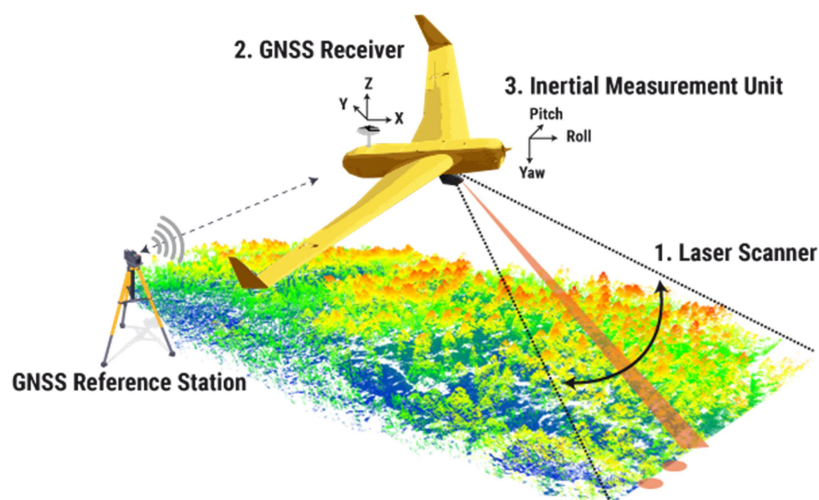
Digitalni model reljefa čini skup pojedinačnih i visinskih točaka, te geometrijskih oblika potrebni za prikazivanje Zemljine površine. Digitalni model reljefa prostorne rezolucije izrađuje se iz visinskih podataka prikupljenih laserskim skeniranjem iz zraka primjenom LiDAR (eng. Light Detection and Ranging) tehnologije [15].

Lasersko skeniranje iz zraka je metoda prikupljanja prostornih podataka na Zemljinoj površini pomoću svjetlosti u obliku pulsirajućeg lasera. Temeljni princip je emitiranje pulsirajućih svjetlosnih valova iz lasera u okolinu. Impulsi se odbijaju od površine i vraćaju do senzora koji mjeri vrijeme potrebno svakom impulsu da se vrati u senzor, te potom izračunava udaljenost koju je neki impuls prešao. Time se dobivaju točke različitih visina koje odgovaraju određenom položaju na Zemljinoj površini [16].



Slika 12: 3D prikaz oblaka točaka prikupljenih laserskim skeniranjem iz zraka LiDAR tehnologijom (preuzeto iz [17]).

Osnovne komponente ovog sustava čine laser, skener ili zrcalo za usmjeravanje laserskih zraka, prijemnik za detekciju reflektirane svjetlosti i sustav za mjerenje vremena putovanja laserskih impulsa u oba smjera. Kombinacijom položaja LiDAR uređaja s preciznim mjerenjima udaljenosti moguće je generirati vrlo točne i detaljne oblake točaka, što zapravo čini skupove 3D točaka koje predstavljaju površine objekata ili terena [18].



Slika 13: LiDAR metoda snimanja iz zraka (preuzeto iz [18]).

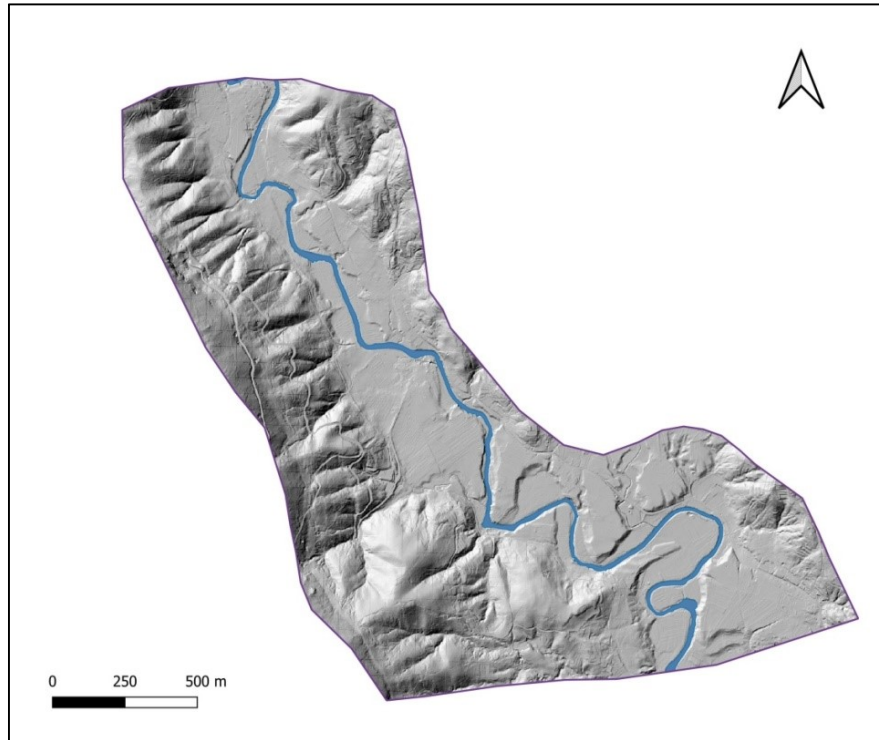
LiDAR metoda se često koristi za izradu detaljnih topografskih karata, posebno u područjima sa zahtjevnim terenom, te se primjenjuje i u urbanističkom planiranju i razvoju infrastrukture [18].

4.3. Vizualna interpretacija digitalnog modela reljefa

Digitalni model reljefa izradila je Državna geodetska uprava u okviru trogodišnjeg (2020. – 2023. god.) projekta „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“, u okviru Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija za razdoblje 2014. do 2020.“, a koji se u 85% sufinanciran iz Europskog fonda za regionalni razvoj.

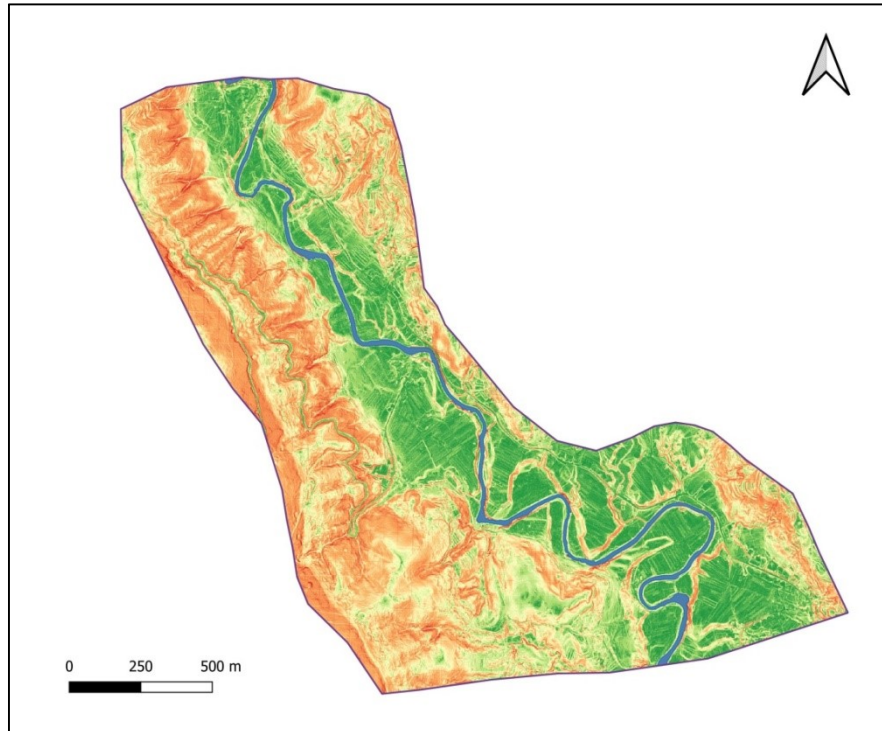
Iz digitalnog modela reljefa prostorne rezolucije 1 x 1 metar, primjenom alata u računalnom softveru QGIS izvedene su slijedeće morfometrijske karte potrebne za vizualnu identifikaciju fluvijalnih taložnih okoliša: karta osjenčanog reljefa (Slika 4), karta nagiba (Slika 5) i karte slojnica s ekvidistancijama slojnica 1, 2 i 5 metara.

Na slici 14 može se vidjeti karta osjenčanog reljefa (eng. hillshade map) koja pokazuje pseudo-trodimensionalni prikaz površine terena čija je svrha vizualna interpretacija morfoloških karakteristika. Ova karta prikazuje se u nijansama sive boje, te je izrađena s parametrima iluminacije 315/45 [19].



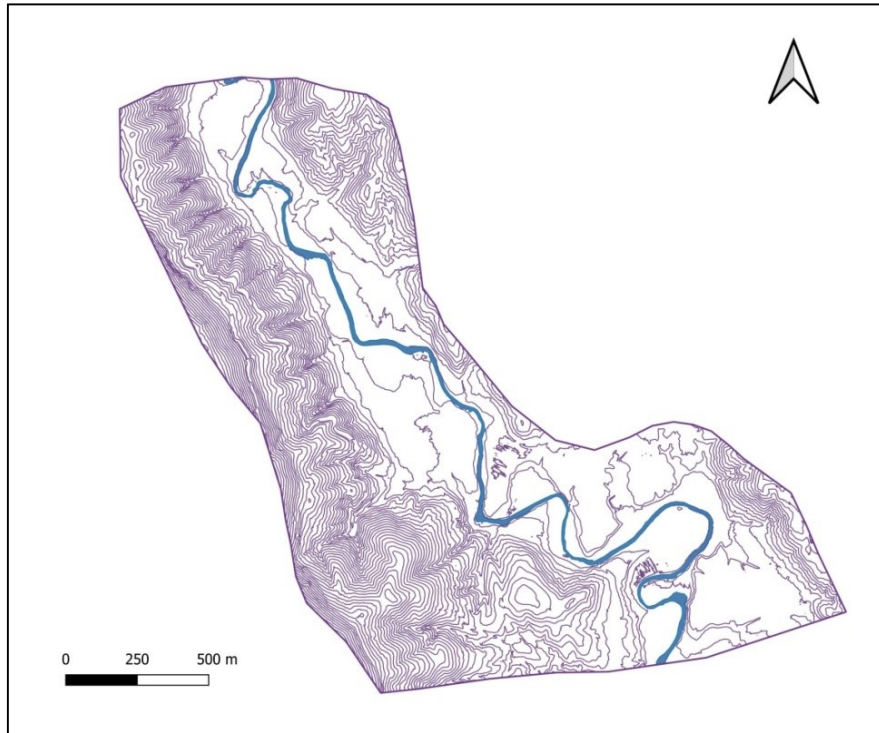
Slika 14: Karta osjenčanog reljefa pilot područja u udolini Rječine izvedena iz DMR-a.

Karta nagiba (eng. slope map) koja se može vidjeti na slici 15, prikazuje prostornu raspodjelu vrijednosti kutova nagiba padine u rasponu od 0° do 90° , u odabranim bojama za različite klase nagiba padine. Tako se na kartama nagiba strmi nagibi padina prikazuju nijansama toplih boja, kao što su crvena, narančasta i žuta boja, a blaže nagnute padine i ravni dijelovi terena se prikazuju nijansama hladnih boja poput zelene boje [19].



Slika 15: Karta nagiba pilot područja u udolini Rječine izvedena iz DMR-a: zelena boja – ravni dijelovi terena, smeđa boja – strmi nagibi padina.

Karta slojnica (eng. contour map) je vrlo važna za vizualno definiranje morfologije površine, a pogotovo u kombinaciji s kartom osjenčanog reljefa i kartom nagiba terena. Slojnice omogućavaju pouzdaniju identifikaciju reljefnih oblika kao što su, na primjer, aluvijalne lepeze. Iz digitalno modela reljefa u softveru QGIS izvedene su tri karte slojnica, i to sa ekvidistancijama slojnica od 1, 2 i 5 m [19].



Slika 16: Karta slojnica pilot područja u udolini Rječine s ekvidistancijom slojnica 5 m, izvedena iz DMR-a.

5. IDENTIFIKACIJA FLUVIJALNIH TALOŽNIH OKOLIŠA

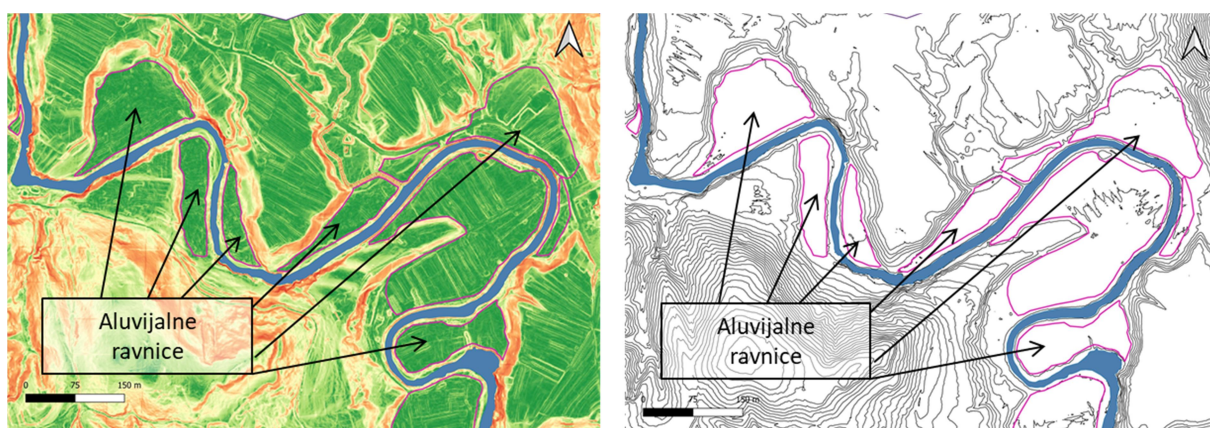
Na morfometrijskim kartama udoline Rječine izrađenih u računalnom softveru QGIS napravljena je identifikacija fluvijalnih taložnih okoliša kao što su aluvijalne ravnice, aluvijalne terase i proluvijalne lepeze.

Vizualna interpretacija digitalnog modela reljefa podrazumijevala je identifikaciju i iscrtavanje granica reljefnih oblika: recentnih aluvijalnih ravnica, aluvijalnih terasa i proluvijalnih lepeza.

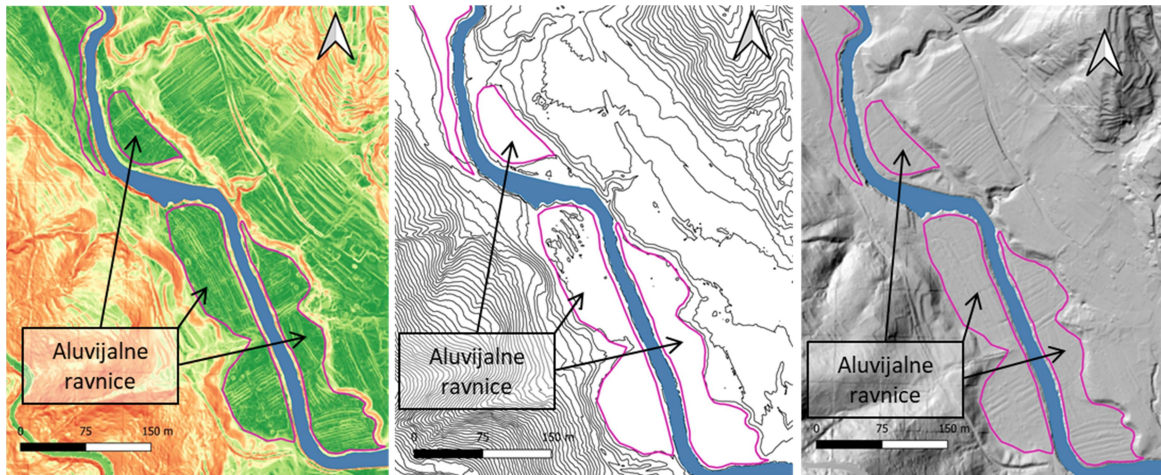
5.1. Recentna aluvijalna ravnica

Aluvijalna ravnica predstavlja široko ravno područje nastalo zbog preplavlivanja rijeke preko svoje obale, te se mogu identificirati uz riječno korito ili uz aluvijalne terase. Za identifikaciju aluvijalnih ravnica najučinkovitija je karta nagiba zbog zaravnjene površine. Također, aluvijalne ravnice se mogu identificirati i na karti slojnica jer su slojnice razdvojene. Najmanja identificirana aluvijalna ravnica je dužine 103 metra, a najduža 300 metara.

Na slijedećoj slici može se vidjeti dio Rječine koji meandrira u blizini naselja Martinovo selo, te kako su se oko zavoja toka stvorile aluvijalne ravnice.



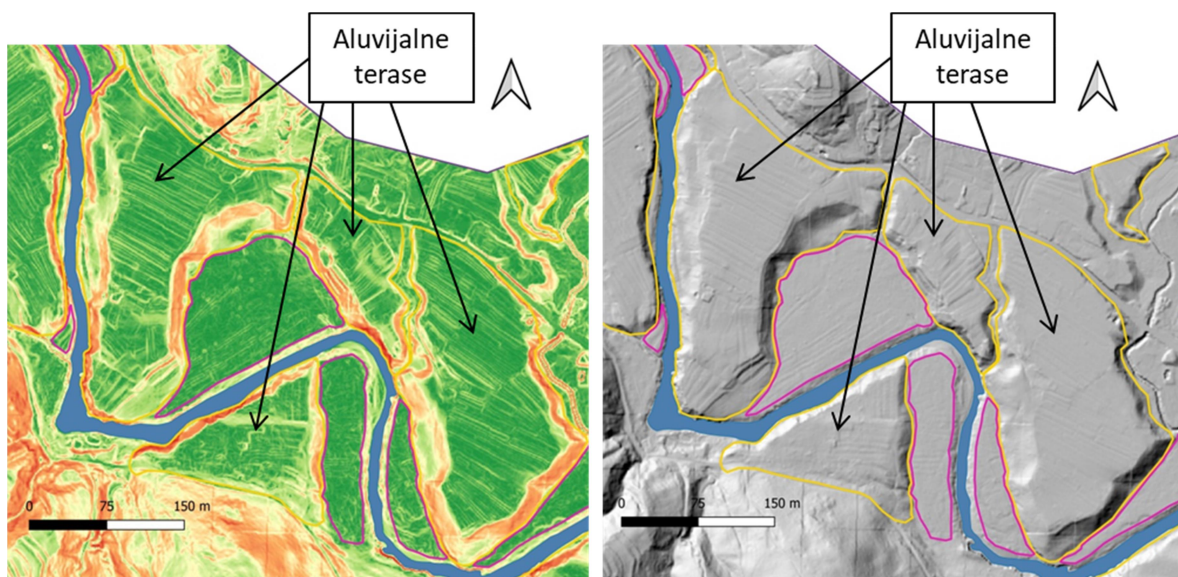
Slika 17: Aluvijalne ravnice u blizini naselja Martinovo selo na karti nagiba i karti slojnica sa ekvidistancijom slojnica 5 m.



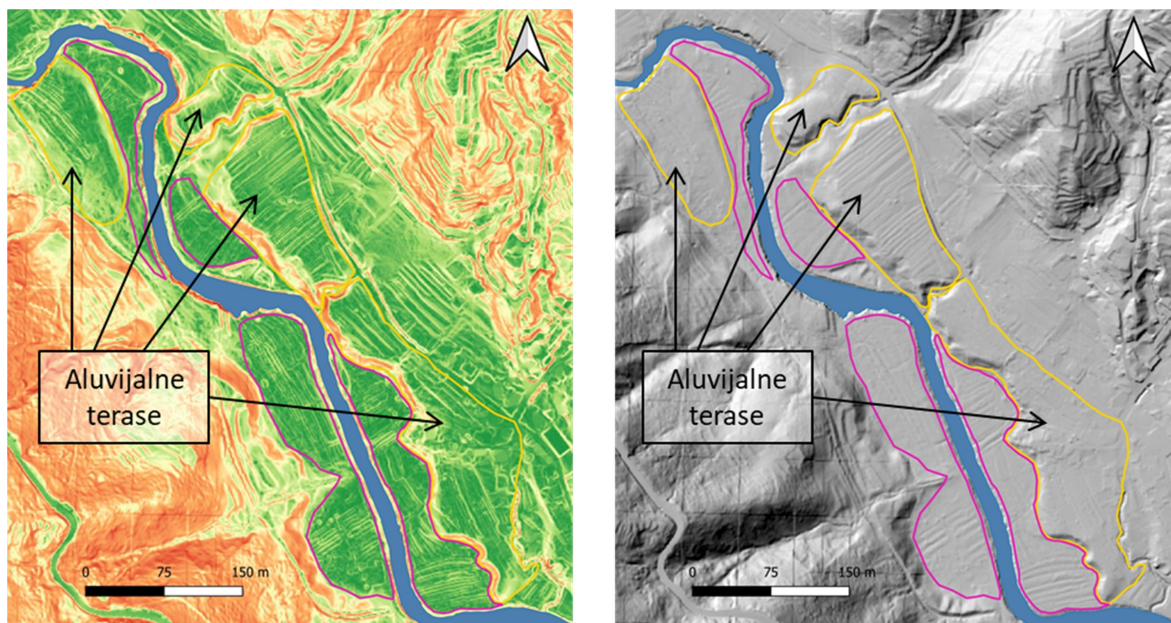
Slika 18: Aluvijalne ravnice na karti nagiba, karti slojnica sa ekvidistancijom slojnica 2 m i karti osjenčanog reljefa kod naselja Zoretići.

5.2. Aluvijalne terase

Aluvijalne terase pokazuju nekadašnje razine riječkog korita i aluvijalnih ravnicu. Za identifikaciju riječnih terasa najučinkovitija je karta nagiba jer se prepoznaju po strmom nagibu i ravnoj gornjoj površini.



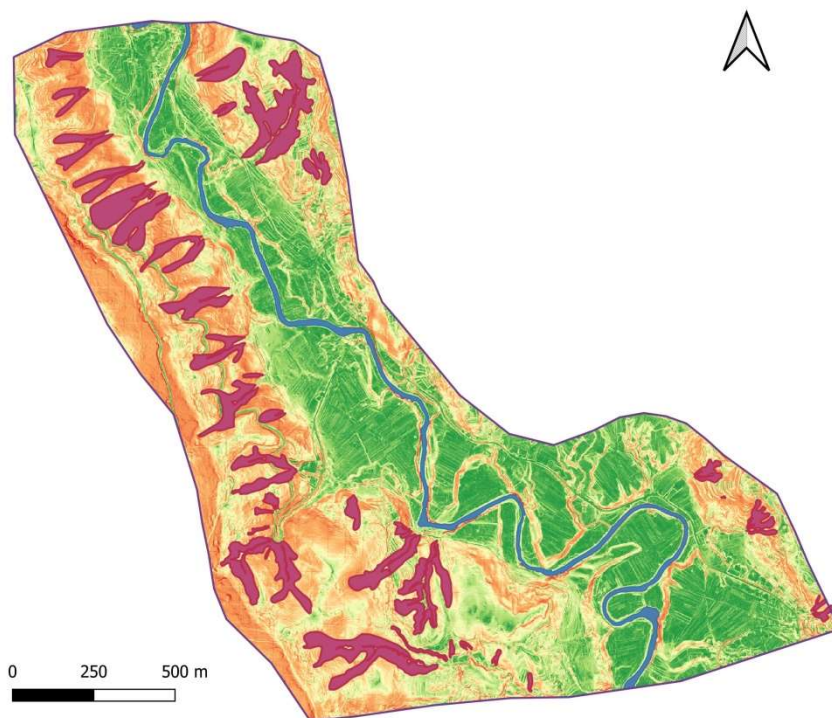
Slika 19: Prikaz aluvijalnih terasa uz aluvijalne ravnice na karti osjenčanog reljefa i karti nagiba blizini naselja Mlaši.



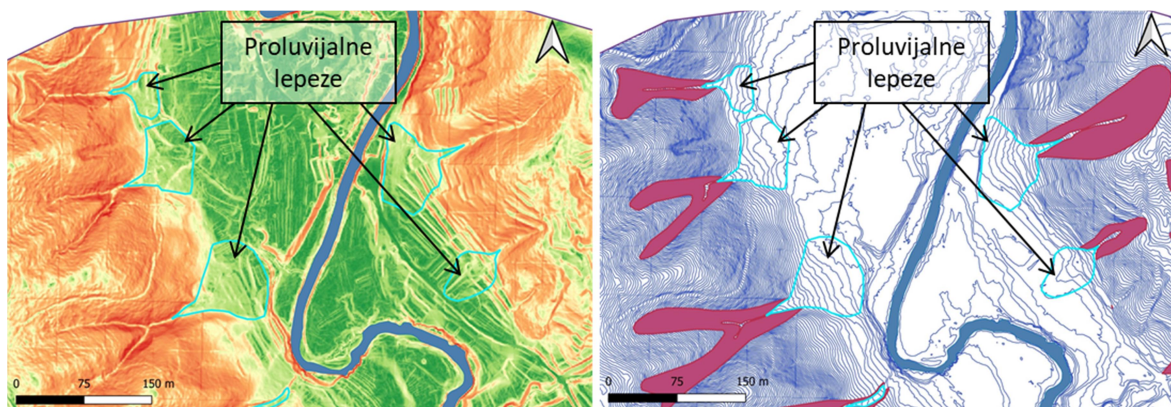
Slika 20: Aluvijalne terase uz aluvijalne ravnice kod naselja Zoretići na karti nagiba i karti osjenčanog reljefa.

5.3. Proluvijalne lepeze

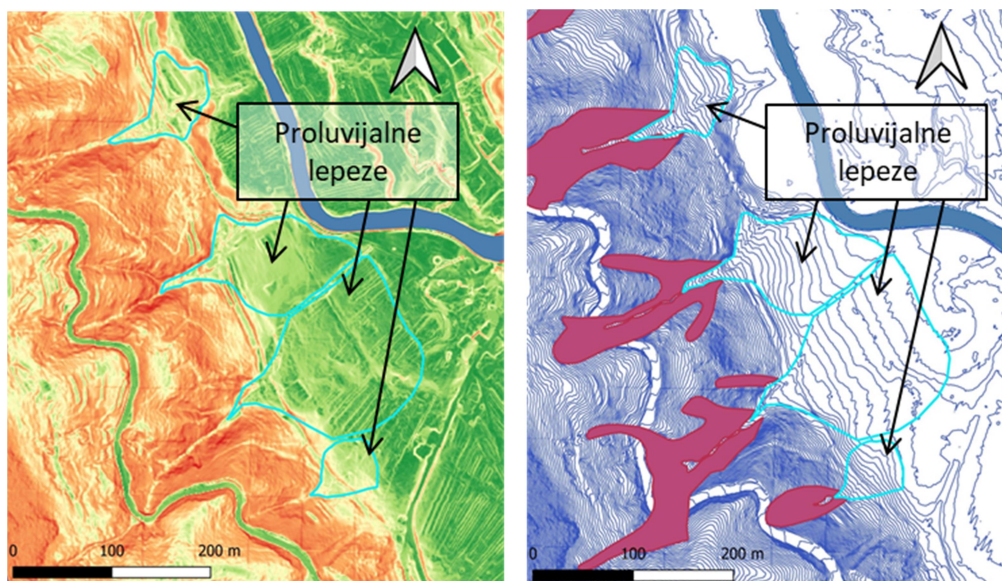
Proluvijalne lepeze se mogu izravno identificirati zbog lepezastog oblika sedimentnih tijela prepoznatljivih na karti slojnica. Važna značajka prepoznatljivosti je i topografski smještaj ovih naslaga, odnosno smještaj lepeza na završecima jaruga oblikovanim na flišnim padinama. Brojne proluvijalne lepeze identificirane su u blizini naselja Kukuljani.



Slika 21: Jaruge na karti nagiba udoline Rječine izvedene iz DMR-a.



Slika 22: Proluvijalne lepeze u blizini naselja Kukuljani na karti nagiba i karti slojnica sa ekvidistancijom slojnica 1m.



Slika 23: Proluvijalne lepeze u blizini naselja Trnovica na karti nagiba i karti slojnica sa ekvidistancijom slojnica 1 m.

6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U ovom radu provedena je vizualna identifikacija fluvijalnih taložnih okoliša u udolini rijeke Rječine koju karakteriziraju flišni udolinski prostor i karbonatne sedimentne stijene. Identifikacija je provedena na digitalnom modelu reljefa visoke rezolucije upotrebom računalnog softvera QGIS.

Na DMR-u identificirane su recentne aluvijalne ravnice, aluvijalne terase i proluvijalne lepeze. Aluvijalne ravnice se najlakše identificiraju zbog zaravnjenog terena na karti nagiba, gdje su prikazane najnižim vrijednostima kutova nagiba, odnosno na karti slojnica po relativno velikoj udaljenosti slojnica. Aluvijalne terase se zbog zaravnjene površine i strmih odsječaka na svojim rubovima također mogu lako prepoznati na karti nagiba, dok se proluvijalne lepeze najlakše izravno identificiraju na karti slojnica jer odražavaju lepezaste oblike naslaga. Važan posredni pokazatelj proluvijalnih naslaga je njihov topografski smještaj na završecima jaruga oblikovanih na flišnim padinama.

Identifikacija fluvijalnih taložnih okoliša ima važnu ulogu u razumijevanju dinamike rijeka i njihovih utjecaja na geomorfologiju krajolika, te daje detaljnu analizu načina na koji rijeke transportiraju i talože sedimente. LiDAR tehnologija je važna jer omogućuje kartiranje i analiziranje morfoloških karakteristika fluvijalnih okoliša, te njihova identifikacija ima korisnu primjenu u procjenama rizika od poplava i očuvanju prirodnih resursa.

7. LITERATURA

- [1] Tišljarić, J. (1994): *Sedimentne stijene*, Školska knjiga, Zagreb.
- [2] Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J. (2016): *Essentials of Geology*, Pearson.
- [3] Marshak, S. (2013): *Essentials of Geology, Fourth Edition*, W. W. Norton & Company, USA.
- [4] Monroe, J. S., Wicander, R., Hazlett, R. (2007): *Physical Geology: Exploring the Earth, Sixth Edition*, Thomson Brooks/Cole, USA.
- [5] <https://www.studyiq.com/articles/fluvial-landforms/>, pristup 15.07.2024.
- [6] Webster, D. (1987): *Understanding geology*, Oliver & Boyd.
- [7] Agović, M. (2021): *Gospodarenje vodama slivom rijeke Rječine*, diplomski rad, Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci.
- [8] EcoMission d.o.o. (2022): *Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš instalacije za dopremu UNP-a od Petrolejske luke do postojećeg skladišnog prostora na Mlaki, Grad Rijeka, Varaždin*.
- [9] Oikon d.o.o. (2016): *Definiranje ekološki prihvatljivih protoka Rječine*, Zagreb.
- [10] <https://www.dinarskogorje.com/rije269ko-primorsko-bilo.html>, pristup 09.08.2024.
- [11] Magaš, O., Palinić, N. (1999): *Rječina i Zvir: regulacija i revitalizacija*, Državni arhiv u Rijeci.
- [12] Knežević, R. (2001): *Osnovne značajke režima porječja Rječine*, Acta Geographica Croatica, Zagreb.
- [13] Vivoda, M., Benac, Č., Žic, E., Đomlija, P., Dugonjić Jovačević, S. (2012): *Geohazard u dolini Rječine u prošlosti i sadašnjosti*, Hrvatske vode.
- [14] Žic, E. (2015): *Prilog modeliranju potencijalnih poplavnih tokova i tokova krupnozrnatog materijala u slivu Rječine*, doktorski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci.
- [15] <https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podaci-topografske-izmjere/digitalni-model-reljefa/180>, pristup 08.07.2024.
- [16] <https://ouster.com/insights/what-is-lidar>, pristup 10.07.2024.
- [17] <https://www.wenita.co.nz/lidar-survey/>, pristup 21.08.2024.
- [18] <https://www.mql5.com/en/blogs/post/755824>, pristup 22.08.2024.

[19] Đomlija, P. (2018): *Identifikacija i klasifikacija klizišta i erozije vizualnom interpretacijom digitalnog modela reljefa Vinodolske udoline*, doktorski rad, Rudarsko-geološki-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.