

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET**

**Diplomski studij geološkog inženjerstva**

**MORFOMETRIJSKA ANALIZA RIJEKA UTINJE, GLINE I PETRINJČICE NA  
TEMELJU DIGITALNOG MODELA RELJEFA**

**Diplomski rad**

**Stipe Vrdoljak**

**Zagreb, 2022.**



KLASA: 602-01/22-01/131  
URBROJ: 251-70-15-22-2  
U Zagrebu, 9.9.2022.

Stipe Vrdoljak, student

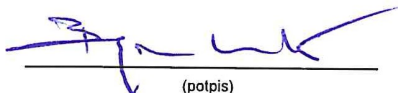
## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/131, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 17.05.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### MORFOMETRIJSKA ANALIZA RIJEKE UTINJE, GLINE I PETRINJČICE NA TEMELJU DIGITALNOG MODELA RELJEFA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

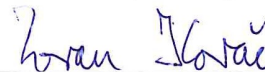


(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:



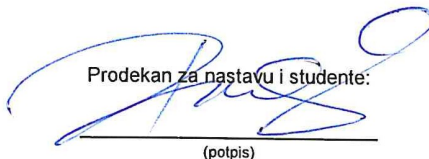
(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)



Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

MORFOMETRIJSKA ANALIZA RIJEKA UTINJE, GLINE I PETRINJČICE NA TEMELJU  
DIGITALNOG MODELA RELJEFA  
STIPE VRDOLJAK

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Peireottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U ovome diplomskom radu su na temelju digitalnog modela reljefa, te *Google Earth* podataka u geografskom informacijskom sustavu (GIS), analizirane rijeke Utinja, Glina i Petrinjčica u svrhu definiranja njihovih morfoloških obilježja temeljem morfometrijskih indikatora i statističkih parametara. Koristeći se analizom relativnog reljefa, varijabilnih nagiba padina, hipsometrijskom analizom slivova i statističkom analizom morfometrijskih obilježja longitudinalnih profila glavnih tokova izdvojeni su parametri koji ukazuju na potencijalnu tektonsku aktivnost istraživanog područja. Prema tome, izdvojeno je pet potencijalnih anomalnih mikrolokacija te su one obrađene terenskim radom u svrhu određivanja razloga njihove pojave. Terenskim istraživanjem dokazano je da uočene točke prijelomnice odgovaraju litološkim promjenama i hidrodinamskim razlikama duž tokova.

Ključne riječi: Petrinjčica, Utinja, Glina, GIS, digitalni model reljefa (DEM), recentna tektonika, morfometrija

Diplomski rad sadrži: 61 stranicu, 53 slike, 1 tablicu i 31 referencu

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Pierrotijeva 6, Zagreb

Mentor: izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš

Ocjenjivači: izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš  
izv.prof.dr.sc. Dario Perković  
izv.prof.dr.sc. Uroš Barudžija

Datum obrane: 16. rujna 2022.

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF RIVERS UTINJA, GLINA AND PETRINJČICA  
BASED ON DIGITAL ELEVATION MODEL

STIPE VRDOLJAK

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

In this thesis the Utinja, Glina and Petrinjčica rivers were analyzed on the basis of digital elevation model and *Google Earth* data, analysis was done using geological information system (GIS) in order to define their morphological characteristics, based on morphometric indicators and statistical parameters. Using the analysis of slope angle, hypsometric analysis of basins and statistical analysis of longitudinal profiles of main streams, morphometric parameters which indicate potential tectonic activity were obtained. By using these, methods five potential microlocations were obtained and they were processed by field work in order to determine the reasons for their occurrence. Field research proved that observed microlocations correspond to lithological changes and hydrodynamic differences along the streams.

Key words: Petrinjčica, Utinja, Glina, GIS, digital elevation model (DEM), tectonics, morphometry

Thesis contains: 61 pages, 53 figures, 1 table and 31 reference

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierrotijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Bojan Matoš, Associate Professor

Reviewers: PhD Bojan Matoš, Associate Professor

PhD Dario Perković, Associate Professor

PhD Uroš Barudžija, Associate Professor

Date of defense: 16. September 2022.



## **Zahvale:**

*Na prvom mjestu veliko hvala mom mentoru prof.dr.sc. Bojanu Matošu. Hvala na svim savjetima, pomoći i ohrabrenjima tijekom izrade diplomskog rada. Također hvala i na velikom strpljenju i razumijevanju koje je pokazao za mene tijekom proteklih godina!*

*Hvala mojoj obitelji koja mi je bila najveća podrška tijekom studiranja, s njima je svaki problem bio manji. Dali su mi sve, a moje je bilo samo da učim!!!!*

*Hvala svim prijateljima i kolegama koji su učinili moje studentske dane nezaboravnima, a ujedno i pripomogli da ovih 5 godina studiranja postane klasičnih 6, no ni to nije promjenilo činjenicu da je prebrzo završilo!*

## SADRŽAJ:

1. Uvod.....	1
2. Geografski položaj.....	2
3. Tektonska i geološka građa područja .....	3
3.1. Tektonska obilježja područja istraživanja .....	4
3.2. Stratigrafske i sedimentološke značajke.....	6
3.2.1. Devon .....	7
3.2.2. Karbon .....	8
3.2.3. Perm.....	8
3.2.4. Trijas.....	8
3.2.5. Jura .....	9
3.2.6. Kreda .....	10
3.2.7. Paleogen .....	11
3.2.8. Neogen.....	12
3.2.9. Kvartar .....	13
4. Metode i rezultati.....	15
4.1 Ulazni podaci.....	16
4.2. Reljef i nagib padina.....	19
4.3. Izdvajanje slivnih područja.....	24
4.4. Hipsometrijska analiza .....	29
4.5. Longitudinalni profili .....	34
4.6. Terenska istraživanja .....	48
5. Diskusija i zaključak –usporedba dobivenih rezultata s seizmičnošću područja Banije.....	56
6. Literatura .....	58

## Popis slika:

Slika 2-1. Karta osjenčanog reljefa Hrvatske s prikazom područja istraživanja izdvojenim glavnim tokovima i drenažnim mrežama istraživanih rijeka ( <a href="https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp">https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp</a> ).....	2
Slika 3-1. Područje istraživanja sa geološkom podlogom temeljem listova OGK: <i>Bosanski Novi</i> (Šikić et al., 1990)., <i>Štunj</i> (Korolija et al., 1968)., <i>Karlovac</i> (Benček et al., 1990). i <i>Sisak</i> (Pikija et al., 1986).....	3
Slika 3-2. Glavne tektonske jedinice Alpa, Karpata, Dinarida i Helenida (Ustaszewski et al., 2010).....	5
Slika 3-3. Geološki stup lista Osnovne geološke karte <i>Bosanski Novi</i> (prema Šikić., 2014). ....	7
Slika 4-1. Struktura GIS-a (preuzeto iz Lacković, 2020).....	16
Slika 4-2. Rasterska matrica ( <a href="https://www.gisoutlook.com/2020/04/raster-data-formats-in-gis.html">https://www.gisoutlook.com/2020/04/raster-data-formats-in-gis.html</a> ).....	17
Slika 4-3. Različite vrste DEM-ova: a) Rasterski DEM b) TIN DEM c) Konturni DEM (preuzeto iz Balasubramanian, 2017). ....	17
Slika 4-4. Digitalni model reljefa područja istraživanja koji je u rezoluciji 25 m preuzet od Europske svemirske agencije kao dio programa Copernicus ( <a href="https://www.copernicus.eu/en/project">https://www.copernicus.eu/en/project</a> ).....	18
Slika 4-5. Karta maksimalnog reljefa za područje istraživanja.....	19
Slika 4-6. Karta minimalnog reljefa za područje istraživanja.....	20
Slika 4-7. Sučelje „ <i>Raster Calculator</i> “ s izračunom rastera relativnog reljefa. ....	20
Slika 4-8. Karta relativnog reljefa područja istraživanja, gdje su zelenom bojom prikazane duboko usječene doline, hrptovi te grebeni sa strmo nagnutim padinama.....	21
Slika 4-9. Reklasificirana karta nagiba padina istraživanog područja.....	23
Slika 4-10. Karta varijabilnih nagiba padina na području istraživanja.....	24
Slika 4-11. Raster sa ispunjenim prostornim prazninama (engl. Fill Sinks).....	25
Slika 4-12. Smjer otjecanja površinskih tokova (engl. Flow Direction).....	26

Slika 4-13. Područje prihranjivanja mikroslivova (engl. Flow accumulation).....	26
Slika 4-14. Izdvojena drenažna mreža (engl. Stream definition) .....	27
Slika 4-15. Drenažna mreža istraživanog područja dobivena pomoću opcije <i>Drainage Line Processing</i> .....	28
Slika 4-16. Mikroslivovi dobivena pomoću opcije <i>Catchment Polygon Processing</i> .....	28
Slika 4-17. Izdvojene drenažne mreže rijeka Utinje, Gline i Petrinjčice .....	29
Slika 4-18. a) Hipsometrijska krivulja. Udio površine ispod krivulje (R) predstavlja hipsometrijski integral. Hipsometrijska krivulja je prikazana funkcijom $f(x)$ (Strahler, 1952). b) Promjene u obliku hipsometrijske krivulje. Strelice pokazuju na smjer promjene krivulja s obzirom na erozijski ciklus (Pérez-Peña et al., 2009, modificirano prema Ohmori, 1993). .....	30
Slika 4-19. Odnos izgleda hipsometrijske krivulje i stadija razvoja reljefa: a) početni stadij b) zreli stadij c) završni stadij (Keller i Pinter, 2002). .....	31
Slika 4-20. Hipsometrijska krivulja sa vrijednostima hipsometrijskog integrala u donjem lijevom uglu sliva Rijeke (a) te sliva Petrinjčice (b) .....	33
Slika 4-21. Hipsometrijska krivulja sa vrijednostima hipsometrijskog integrala u donjem lijevom uglu slivova Utinje (a), Crne Rijeke (b) te Perne (c).....	33
Slika 4-22. Izdvojeni glavni tokovi rijeka Utinje, Gline i Petrinjčice korišteni za izradu longitudinalnih profila samih rijeka.....	35
Slika 4-23. Pointsprofili istraživanih rijeka.....	36
Slika 4-24. Longitudinalni profil za rijeku Petrinjčicu.....	37
Slika 4-25. Lokacija maksimalne erozije za rijeku Petrinjčicu .....	38
Slika 4-26. Longitudinalni profil za rijeku Glinu .....	39
Slika 4-27. Izdvojeni slivovi rijeke Gline (potoci/slivovi Rijeka, Crna Rijeka i Perna) .....	40
Slika 4-28. Longitudinalni profil sliva Crna Rijeka .....	40
Slika 4-29. Longitudinalni profil sliva Perna .....	41
Slika 4-30. Longitudinalni profil sliva Rijeka .....	41

Slika 4-31. Topografski profil za rijeku Glinu izdvojen u Google Earth-u.....	42
Slika 4-32. Lokacija točke prijelomnice za rijeku Glinu.....	43
Slika 4-33. Lokacija anomalne točke za sliv Crna Rijeka.....	44
Slika 4-34. Lokacija anomalne točke za sliv Perna.....	44
Slika 4-35. Lokacija anomalne točke za sliv Rijeka.....	45
Slika 4-36. Normalizirani longitudinalni profil za rijeku Utinju.....	46
Slika 4-37. Topografski profil rijeke Utinje deriviran pomoću Google Eartha.....	46
Slika 4-38. Lokacija anomalne točke ra rijeku Utinju.....	47
Slika 4-39. Lokacija točke prijelomnice za rijeku Petrinjčicu (Lokacija, $\varphi$ - 45.30793512, $\lambda$ - 16.286922609114).....	48
Slika 4-40. Valutice pješčenjaka, kvarca i magmata pronađene na terenu na lokaciji $\varphi$ - 45.30793512, $\lambda$ -16.286922609114.....	49
Slika 4-41. Dvije točke prijelomnice kod rijeka Gline (lokacija, $\varphi$ - 45.2886948315848, $\lambda$ - 15.9979474079013).....	50
Slika 4-42. Izdanci dijabaza koji su sastavni dio ofiolitnog melanža (lokacija, $\varphi$ - 45.2886948315848, $\lambda$ -15.9979474079013).....	51
Slika 4-43. Izdanci dijabaza na lokalitetu uz rijeku Glinu ( $\varphi$ - 45.2886948315848, $\lambda$ - 15.9979474079013).....	51
Slika 4-44. Antropogena forma (nasip) koja je uzrok pojave točke prijelomnice na profilu....	52
Slika 4-45. Lokacija pojave toče prijelomnice za sliv Crna Rijeka (lokacija, $\varphi$ - 45.2908342704599, $\lambda$ - 15.929864309743).....	53
Slika 4-46. Lokacija pojave točke prijelomnice za potok Perna (lokacija, $\varphi$ - 45.2980036222372, $\lambda$ -15.8126419124322).....	54
Slika 4-47. Morfološka stepenica uočena na prijelazu konglomerata u pješčenjake (lokacija, $\varphi$ - 45.2980036222372, $\lambda$ - 15.8126419124322).....	55
Slika 4-48. Konglomerat pronađen na terenu na mikrolokacij određenoj za sliv Perna ( $\varphi$ - 45.2980036222372, $\lambda$ - 15.8126419124322).....	55

Slika 5-1. Usporedba lokacija potresa na Baniji sa anomalnim lokacijama dobivenim u ovom radu (prikazane crvenim točkicama) (<https://earthquake.usgs.gov/>) .....56

**Popis tablica:**

Tablica 4-1 Kategorije nagiba terena.....22

# 1. Uvod

Geomorfološka obilježja istraživnog područja rezultat su djelovanja egzodinamskih i endodinamskih procesa, koji su oblikovali reljef ovog prostora kakav danas poznajemo. Parametri dobiveni morfometrijskom analizom reljefa u ovom području temelje se na analizi digitalnog modela reljefa (DEM) u geografskom informacijskom sustavu (GIS). Takav način rada omogućuje brži rad i veću preciznost od klasičnih geomorfoloških analiza provedenih korištenjem analognih izvora podataka. Cilj ovog diplomskog rada je bio identificirati anomalne vrijednosti morfometrijskih parametara u reljefu koristeći geografske informacijske sustave kao moguće indikatore recentne tektonske aktivnosti na području Banije.

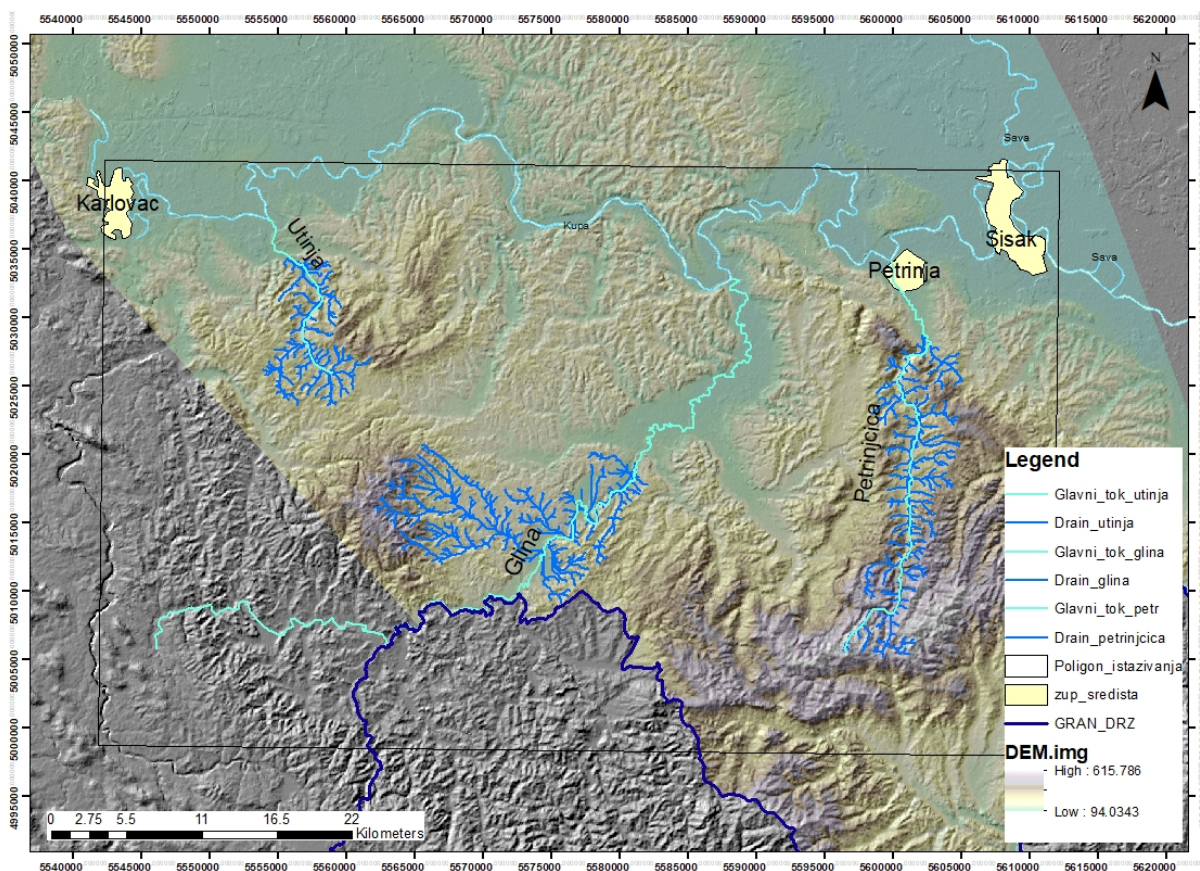
Istraživano područje Banije je u 2020. godini bilo pogođeno snažnim potresom s epicentrom u blizini Petrinje, a koji je uzrokovan desnim rasjedom pružanja SZ-JI, dužine preko 20 km (Baize et al., 2022). S obzirom da potresna opasnost u središnjem dijelu Hrvatske predstavlja važan geološki hazard i rizik, posebice na području Petrinje, u ovome su se radu pokušale identificirati moguće morfološke koseizmičke promjene glavnih tokova rijeka Utinje, Petrinjčice i Gline kao poveznice s potresnim događajima i rasjednom aktivnošću koje su se dogodile u prošlosti.

U ovome radu, uz digitalni model reljefa (DEM) koji je služio kao osnovni izvor hipsometrijskih podataka korišteni su i dodatni hipsometrijski izvori kao što je *Google Earth*.

Rezultati GIS analiza su naposljetku obuhvaćeni terenskom prospekcijom kako bi se utvrdila potencijalna korelacija dobivenih rezultata s geološko-geomorfološkim pokazateljima recentnih tektonskih pokreta u području istraživanja.

## 2. Geografski položaj

Područje istraživanja nalazi se u središnjem dijelu Hrvatske (Slika 2-1), koje geografski objedinjuje područje Banije. Radi se o desnim pritocima rijeke Kupe, odnosno rječicama Utinji i Petrinjčici te rijeci Glini. Kako područje istraživanja objedinjuje istočni i sjeverni dio Banije, brežuljkasto područje čija nadmorska visina ne prelazi 500 m, ono zapravo obuhvaća Zrinsku goru između Une i Gline te Petrovu goru koja se smjestila između Kupe, Gline i Korane. Rijeka Glina izvire na području Korduna koji je prijelazna zona između Dinarida te panonskog dijela Hrvatske. Rijeka Utinja izvire na Hrastovičkoj gori, dok rijeka Petrinjčica izvire na Zrinskoj gori. Dvije županije koje najvećim dijelom pokrivaju područje istraživanja su Karlovačka i Sisačko-moslavačka županija, a veći gradovi kroz koje ove rijeke prolaze su Glina i Petrinja (<https://petrinjaturizam.hr/>).

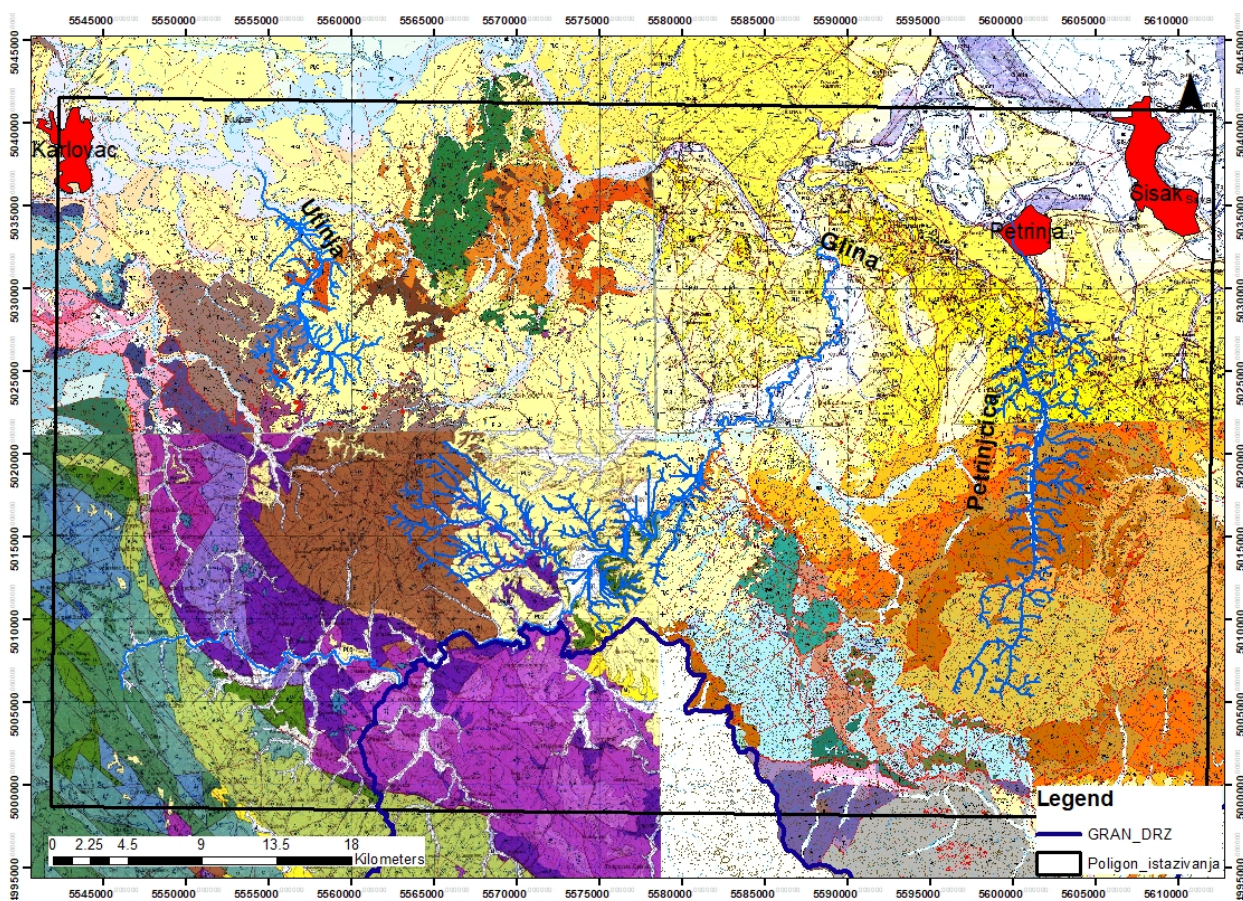


Slika 2-1. Karta osjenčanog reljefa Hrvatske s prikazom područja istraživanja te izdvojenim glavnim tokovima i drenažnim mrežama istraživanih rijeka (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>)



### 3. Tektonska i geološka građa područja

Područje istraživanja ovog diplomskog rada je pokriveno s četiri lista Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000, radi se o listovima *Bosanski Novi* (Šikić et al., 1990), *Slunj* (Korolija et al., 1968), *Karlovac* (Benček et al., 1990) i *Sisak* (Pikija et al., 1986), što je prikazano i na Slici 3-1, dok je opis geoloških jedinica prikazan u pripadajućim Tumačima. Samim time se i pregled osnovnih geoloških obilježja istraživanog područja temelji na navedenim izvorima.



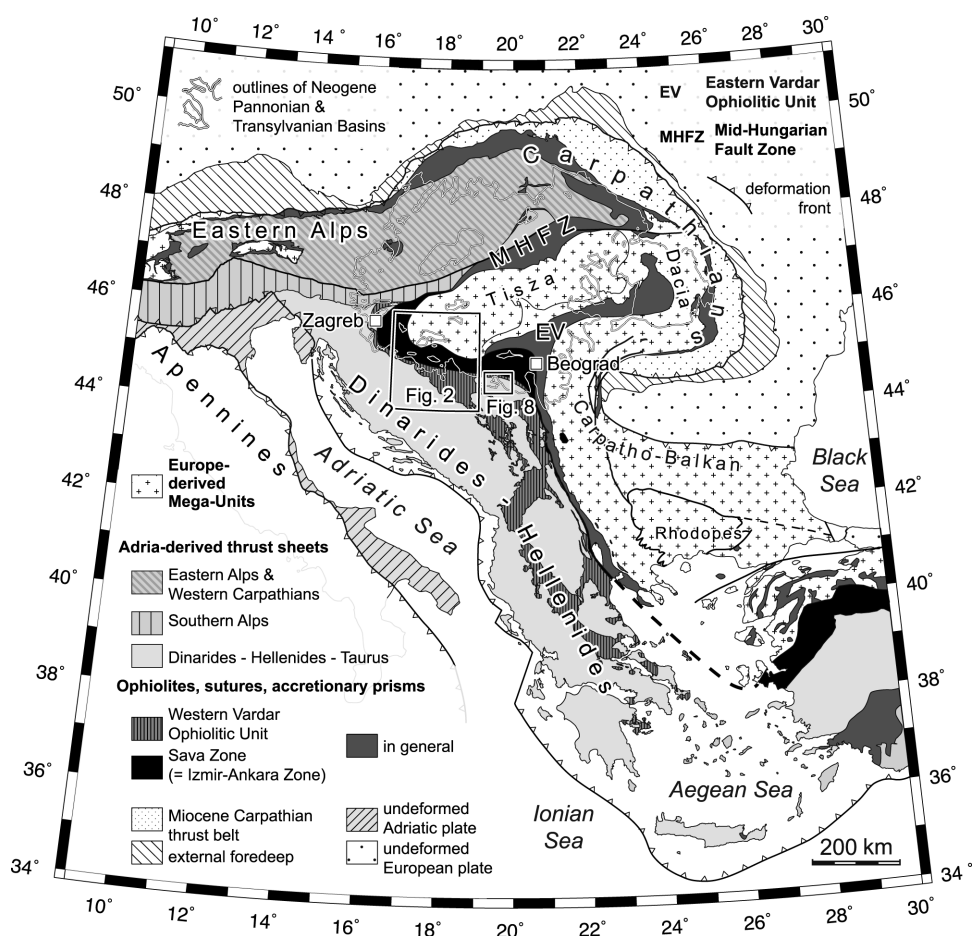
Slika 3-1. Područje istraživanja s geološkom podlogom temeljem listova OGK: *Bosanski Novi* (Šikić et al., 1990), *Slunj* (Korolija et al., 1968), *Karlovac* (Benček et al., 1990) i *Sisak* (Pikija et al., 1986)

### 3.1. Tektonska obilježja područja istraživanja

Recentni strukturni sklop istraživanog područja predstavlja rezultat kompleksnih tektonskih faza koje su obilježile razvoj Jadranske mikroploče te Europske ploče, odnosno njihovu kolizijsku zonu, **Savsku suturnu zonu**. Područje istraživanja predstavlja kontakt **Vanjskih i Unutrašnjih Dinarida** čije jedinice i strukture dominiraju u jugozapadnom dijelu istraživanog područja, dok jedinice i strukture nastale na Tisijskom kontinentalnom bloku nalazimo sjeveroistočno od toka rijeke Save (Slika 3-2; Schmid et al., 2008). **Vanjske i Unutrašnje Dinaride** čije jedinice većim dijelom grade prostor Banije čini mezozojski karbonatni slijed naslaga koje karakterizira tektonska poremećenost, česta reduciranost ali i izmjena s pelagičkim karbonatno-klastičnim naslagama, koji su nastajali usred tektonske aktivnosti tijekom jure te mlađe krede i paleogena (Vlahović et al., 2005; Schmid et al., 2008). U dijelu **Unutrašnjih Dinarida**, specifičan je sedimentacijski slijed naslaga koji se sastoji i od ofiolitnog kompleksa gornjojursko-donjokrednih stijena te pelagičkog turbiditnog kompleksa nastalog tijekom mlađe krede i starijeg paleogena (Šikić et al., 1990; Ustaszewski et al., 2010).

Zatvaranjem oceanskog prostora Neotethysa tijekom gornje krede i paleogena dolazi do sudara Jadranske mikroploče (Dinaridi) i Euroazijske ploče (Tisza – Dacia megablok). Do zatvaranja oceanskog prostora je došlo zbog promjene iz ekstenzijskog naprezanja u kompresijsko koje je počelo tijekom mlađe jure i koje je dovelo do intraoceanske subdukcije te obdukcije ofiolita na istočni rub Jadranske mikroploče, što danas predstavlja područje **Unutrašnjih Dinarida** (Vlahović et al., 2005; Schmid et al., 2008). Početnu intraoceansku subdukciju je zamijenila sinsedimentacijska tektonika sa stabilnom subsidencijom, čime je formiran debeo slijed jurskih i krednih naslaga. Do prekida takvog načina taloženja dolazi krajem krede i početkom paleogena, daljnjim zatvaranjem Neotethysa duž **Savske suturne zone**. Pretpostavlja se da je nakon zatvaranja Neotethysa duž **Savske suturne zone**, kao posljedica i dalje aktivne konvergencije između Jadranske i Europske ploče, došlo do postupnog napredovanja navlačnog čela prema jugozapadu u vanjski, distalni dio Dinaridskog orogena, što je u konačnici dovelo i do stvaranja borano-navlačnog pojasa **Vanjskih Dinarida** (Vlahović et al., 2005; Schmid et al., 2008).

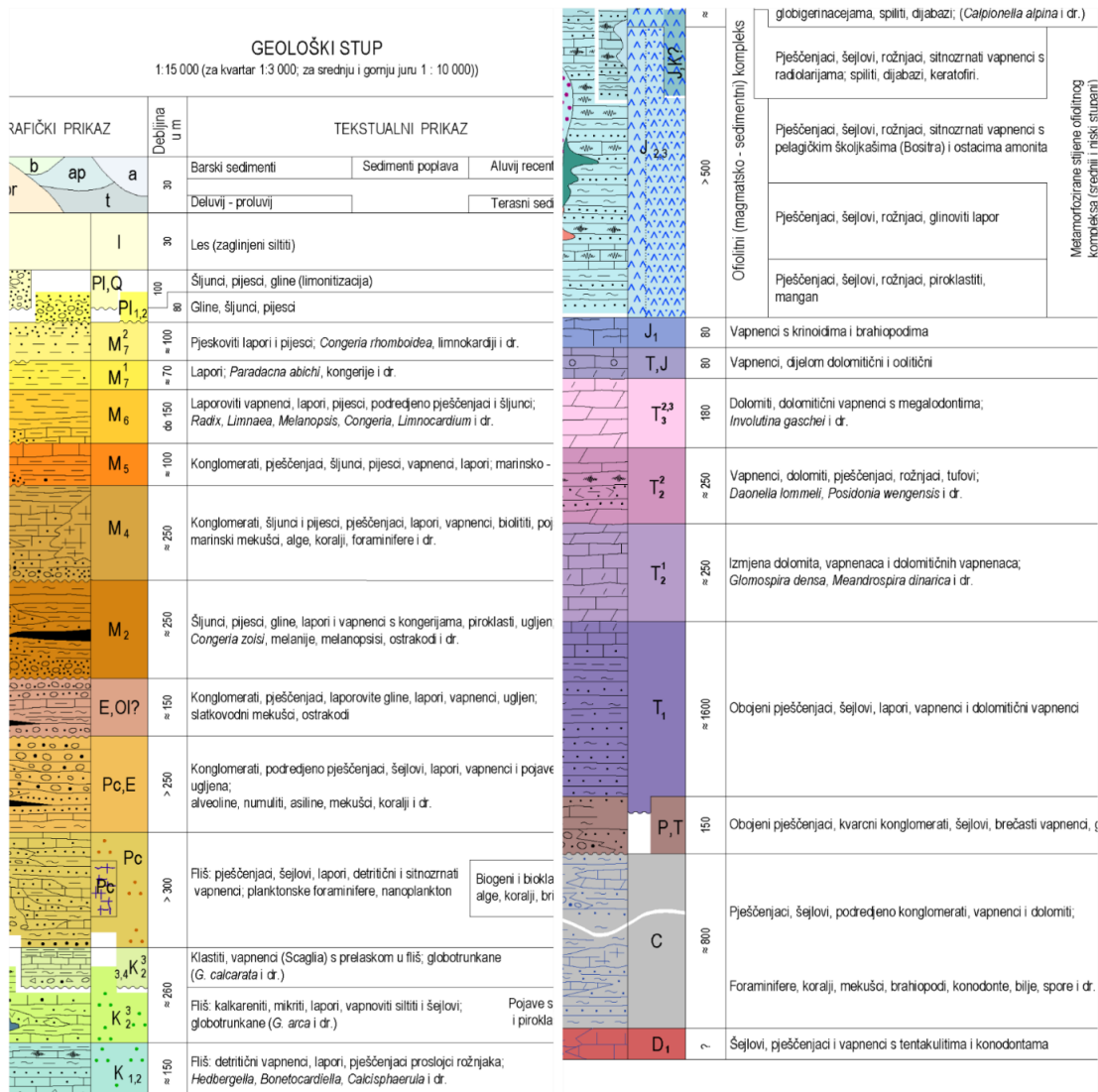
**Savska suturna zona** predstavlja područje koje se nalazi između Tisza – Dacia megabloka i Jadranske mikroploče. Originalno, ovaj pojas ofiolita, magmatskih i metamornih stijena koji se proteže od Zagreba do Beograda je nazivan i *Savsko – Vardarskom zonom* te se interpretira kao vulkanski zalučni bazen (engl. *back – arc basin*) koji je bio otvoren sve do kolizije između Dinarida i Tisza – Dacia mega bloka. Stoga, područje istraživanja čini širu zonu **Savske suturne zone** koja na neki način predstavlja „šav“ između tih dviju tektonskih jedinica. Dakle, na području istraživanja možemo pratiti koliziju koja se dogodila u mlađoj kredi, dok je za ovaj prostor u neogenu karakteristična ekstenzijska tektonika kojom je ujedno formiran i Panonski bazen (Schmid et al., 2008; Ustaszewski et al., 2010).



Slika 3-2. Glavne tektonske jedinice Alpa, Karpata, Dinarida i Helenida (Ustaszewski et al., 2010)

### 3.2. Stratigrafske i sedimentološke značajke

Područje istraživanja se odlikuje kompleksnom geološkom građom koja se sastoji od litološki vrlo različitih stijena. Prema tumačima geoloških karata *Bosanski Novi* (Šikić et al., 1990), *Slunj* (Korolija et al., 1968), *Karlovac* (Magaš et al., 1990) i *Sisak* (Pikija et al., 1986) uočavamo da je stratigrafski slijed starosti naslaga na ovom području palezojske do kvartarne starosti (Slika 3-1). Slijed naslaga se dominantno sastoji od karbonatnih i klastičnih naslaga koje su većim dijelom dobro uslojene, kompaktne a ponekad i uškrljene. Izuzetak je kvartarni slijed naslaga koji je slabo vezan te zbog svoje povećane erodibilnosti značajno utječe na morfologiju riječnih korita u području istraživanja. U nastavku poglavlja stratigrafski slijed naslaga koji se nalazi u širem području istraživanja biti će prikazan idući od stratigrafsko starijih prema mlađim naslagama. Na Slici 3-3 je prikazan generalni stratigrafski slijed naslaga istraživanog područja temeljem geološkog stupa lista osnovne geološke karte *Bosanski Novi* (Šikić, 2014).



Slika 3-3. Geološki stup lista Osnovne geološke karte *Bosanski Novi* (prema Šikić., 2014).

### 3.2.1. Devon

#### 3.2.1.1. Donji devon (D<sub>1</sub>)

Prema Šikić et al. (2014) naslage starijeg devona nalazimo na Trgovskoj gori (Slika 3-1) gdje su na dva izdanka uočeni karbonatni ulošci na kojima nalazimo izmjene šejlova, siltita i pješčenjaka debele oko 50 cm. Na lokalitetima naslage su tektonizirane i vjerojatno se radi o izdignutim tektonskim blokovima unutar karbonatnih sedimenata. Debljina naslaga nije poznata.



### **3.2.2. Karbon**

Naslage karbona pripadaju krajnjem sjeverozapadnom dijelu Sansko-Unskog paleozojskog kompleksa (Slika 3-1; Šikić 1990, Šikić, 2014). Prema sjeveru, sjevernije od doline Žirovnice, karbonske naslage nalazimo u tektonskom kontaktu s trijaskim stijenama i jurskim ofiolitnim kompleksom. Na zapadu i jugozapadu su također u tektonskom kontaktu s trijaskim naslagama (Slika 3-1). Podjela karbonskih naslaga na katove zasada nije izvršena, ali na Trgovskog gori je dokazana prisutnost donjeg, srednjeg i gornjeg karbona. Teškoće u izdvajanju se javljaju uslijed litološke sličnosti sedimenata i nedostatka facijelnih repera, poremećenosti naslaga i još uvijek malog broja nalazišta fosila. Naslage karbona čine klastične i podređeno karbonatne stijene. Naslage paleozoika nalazimo u zoni *Una-Trgovska gora-Petrova gora* (Slika 3-1) gdje također nalazimo i pojave ruda bogatih željezom, bakrom, olovom, srebrom, cinkom i baritom. Smatra se da su orudnjenja vezana za submarinski magmatizam (Šikić, 2014). Debljina naslaga nije poznata.

### **3.2.3. Perm**

Permske sedimente (Slika 3-3) čine uglavnom klastiti, a uz granicu s donjim trijasom nerijetko nalazimo i porozne vapnence i gips. Klastiti se pretežito sastoje od pješčenjaka i podređeno kvarcnih konglomerata i šejlova (Šikić, 2014). Također pronalazimo i tzv. „*turbiditni paleozoik*“ koji čini seriju klastita u kojoj se izmjenjuju šejlovi, siltiti, pješčenjaci i konglomerati. Sedimentacijom pješčenjaka i konglomerata se na ovom prostoru završava paleozojska klastična sedimentacija, a naslage dosežu debljine i do 20 m (Korolija et al., 1968).

### **3.2.4. Trijas**

#### **3.2.4.1. Donji trijas (T<sub>1</sub>)**

Naslage starijeg trijasa nalazimo na obroncima Trgovske i Petrove gore te manjim dijelom na području Slunja (Slika 3-1). Sedimenti starijeg trijasa su većim dijelom u tektonskom kontaktu sa stijenama karbona te srednjeg i mlađeg trijasa. Stariji trijas je pretežno zastupljen klastitima terigenog porijekla, a prijelaz prema mlađem dijelu starije jure je karakteriziran povećanjem karbonatne sedimentacije gdje pronalazimo većinom pješčenjake, lapore i dolomite (Korolija et

al., 1968). Debljina naslaga starijeg trijasa se procjenjuje na 500 - 700 m (Slika 3-3; Magaš et al., 1990).

#### **3.2.4.2. Srednji trijas (T<sub>2</sub>)**

Srednjotrijaske naslage rasprostranjene su na Trgovskoj gori te manjim dijelom i u okolici Siska, većinom se radi o karbonatnim naslagama u kojima dominiraju dolomiti anizičke i ladiničke starosti (Šikić et al., 2014). Osim dolomita i vapnenaca u srednjem trijasu nalazimo i pješčenjake s proslojcima crnih mikrita, lapore i tufove. Debljina anizičkih i ladiničkih naslaga se procjenjuje na oko 200 – 250 m (Slika 3-3; Korolija et al., 1968).

#### **3.2.4.3 Gornji trijas (T<sub>3</sub>)**

Naslage gornjeg trijasa su zastupljene isključivo karbonatnim naslagama gdje dominiraju dolomiti koji u mlađem dijelu prelaze u izmjenju dolomitiziranih vapnenaca i čistih vapnenaca. Na većini lokaliteta izdvaja se dobra uslojenost dolomita te su zapažene dolomitne teksture (Šikić et al., 2014). Prema Šikić (2014), debljina naslaga gornjeg trijasa varira na cijelom području, a možemo reći da se kreće oko 500 – 700 m.

### **3.2.5. Jura**

#### **3.2.5.1. Donja jura (J<sub>1</sub>)**

U razdoblju starije jure vapnenci su većinom sitnozrnate građe i gromadnog izgleda s rijetko izraženom slojevitosti (Magaš et al., 1990). Također, uz vapnence pronalazimo i kasnodijagenetske dolomite i dolomitizirane vapnencem, a debljina naslaga starije jure iznosi od 100 do 300 m (Slika 3-3; Magaš et al., 1990).

#### **3.2.5.2. Srednja jura (J<sub>2</sub>)**

Dolomiti i vapnenci srednje jure se nalaze na širem području Slunja (Slika 3-1.) gdje dolaze u rasjedni odnos s vapnencima mlađe jure i krede. Slijed srednjojurskih karbonata zastupljen je sivim kristaliničnim dolomitima uz mjestimične leće dobro uslojenih vapnenaca (Slika 3-1; Korolija et al., 1968). Nadalje, glavna jurskih naslaga nalazi se na području koje pripada OGK listu *Bosanski Novi*, gdje unutar ofiolitnog kompleksa srednje i mlađe jure, uslijed tektonizacije i velikog broja malih pojava (površina) magmatita, nije moguće provesti pojedinačno izdvajanje i prikazivanje stvarnih odnosa magmatita i sedimenata. To podrazumijeva da su jurski karbonati,

kartografski, grubo izdvojena područja unutar područja prekrivenih sedimentnom sekvencom ofiolitnog kompleksa, od područja u kojima prevladavaju magmatiti (Slika 3-1). Osim toga tu se nalaze i posebno izdvojene pojave amfibolita, ultramafita i metamorfoziranih gabra. Ranije navedene sedimentne stijene ofiolitnog kompleksa su zastupljene pješčenjacima, šejlovima i rožnjacima te podređeno siltitima, laporovitim i pjeskovitim šejlovima i sitnozrnim vapnencima. Metamorfne stijene su otkrivene na većim ili manjim površinama, od rijeke Gline na SZ do doline Stupnice na JI (Slika 3-1). Tu su prisutni metamorfozirani sedimenti, uglavnom glinoviti peliti, psamiti, a rjeđe rožnjaci, vapnenci i piroklastiti. Uz njih susrećemo i metamorfozirane bazične magmatite, a kod svih možemo razlikovati stijene niskog i stijene srednjeg stupnja metamorfizma (Šikić et al., 1990). Debljine naslaga donje jure iznose do 500 m.

### **3.2.5.3. Gornja jura (J<sub>3</sub>)**

U razdoblju mlađe jure izdvojen je magmatsko – sedimentni (ofiolitni) kompleks koji se nalazi na više lokaliteta gdje su unutar magmatsko-sedimentnog (ofiolitnog) jurskog kompleksa uklopljeni blokovi vapnenaca starije jure i vapnenačkih breča (Slike 3-1 i 3-3). U sedimentima mlađe jure dominiraju vapnenci i dolomiti karakterizirani međusobnom vertikalnom i lateralnom izmjenom. Također, uz njih su prisutni i vapnenci s rožnjacima i karbonatne sedimentne breče koje kao najdonji dio sedimentata gornje jure leže neposredno na vapnencima srednjeg dijela donje jure. Debljina navedenih naslaga ide i do 500 m (Korolija et al., 1968). Osim toga u mlađem dijelu naslaga u kojem nije primijećen utjecaj magmatita, u fliškoj izmjeni uz sitnozrne glinovite vapnence, lapore, karbonatne šejlove i pješčenjake, zastupljeni su i karbonatni siltiti i pjeskoviti vapnenci (intrabiospariti) (Šikić et al., 1990).

## **3.2.6. Kreda**

### **3.2.6.1. Donja kreda (K<sub>1</sub>)**

Sedimenti starije krede pojavljuju se u tektonski ograničenom pojasu duž sjevernih padina Žirovnice (Slika 3-1.) gdje prevladavaju šejlovi i laporoviti šejlovi s proslojcima sitnozrnatih vapnenaca i rožnjaka te je općenito za ove sedimente karakteristična strujna laminacija (Šikić et al., 1990). U široj okolici Slunja (Slika 3-1) se pojavljuju vapnenci s lećama dolomita koji su dobro uslojeni te je njihov odnos prema starijim naslagama transgresivan. Zapadno od Slunja ulazimo u uzak pojas karbonatnih breča koji leže transgresivno na vapnencima podloge



(Korolija et al., 1968). U sjeverozapadnom dijelu područja istraživanja (Slika 3-1) naslage su otvorene u nekoliko tektonski odijeljenih blokova i u rasjednom su kontaktu s vapnencima mlađe jure te tu većinom pronalazimo vapnence tipa mikrita, debljine naslaga su do 300 m (Magaš et al., 1990).

### **3.2.6.2. Gornja kreda (K<sub>2</sub>)**

Naslage mlađe krede čine karbonatne naslage te kaotični vulkanogeno – sedimentni kompleks (Magaš et al., 1990). Karbonatne stijene koje se najviše pojavljuju su vapnenci, dolomiti, dolomitne breče i rudistni vapnenci. Kod vulkanogeno – sedimentnog kompleksa je karakteristično to što s klastitima dolaze magmatske stijene tipa dijabazi, spiliti i keratofiri (Magaš et al., 1990). Nadalje, na području rijeke Utinje (Slika 3-1) su prisutni i sivi do crvenkasti vapnenci tzv. *Scaglia vapnenci*, a osim njih tu su i šejlovi i tufitične naslage koje su u velikoj mjeri tektonizirane (Pikija et al., 1986). Razvoj starijih klastičnih naslaga mlađe krede uočava se južno od Topuskog te se tu nalaze lapori, pješčenjaci i kalkareniti kao glavni članovi flišno – turbiditnog slijeda (Korolija et al., 1968). Debljine naslaga gornje krede iznose od 150 do 400 m.

## **3.2.7. Paleogen**

### **3.2.7.1. Paleocen**

Sedimenti paleocena s izrazitim fliškim karakteristikama rasprostranjeni su u zapadnom dijelu Zrinske gore (Slika 3-1). Turbiditni klastični sedimenti paleocena taloženi iz mutnih tokova zastupljeni su pješčenjacima, silitima, kalksilitima, manje ili više siltoznim do pjeskovitim šejlovima, laporovitim šejlovima i glinovitim laporima, podređeno konglomeratičnim pješčenjacima i konglomeratima te proslojcima vapnenaca (Šikić et al., 1990). U intenzivno tektoniziranom prostoru zapadno od Barilovića (na lijevoj obali Korane), izdvojene su klastične naslage (fliš) paleocena između naslaga srednje i mlađe jure (Magaš et al., 1990). Debljina ovih naslaga varira od 50 do 200 m.

### **3.2.7.2 Eocen**

Eocenske naslage su izdvojene na području sjeveroistočnog i istočnog dijela Zrinske gore, granica s neogenom se na sjeveru proteže od ušća M. u V. Petrinjčicu do doline Sunje (Slika 3-1). U ovim naslagama dominiraju sitnozrnati klastiti u izmjeni sa šljunkovitim pješčenjacima i

konglomeratima. U sedimentima je općenito zapažena povećana količina organske tvari (Šikić et al., 1990). Također, eocenske naslage nalazimo u dolini rječice Utinje (Slika 3-1) gdje u litološkom sastavu dominiraju krupnozrnati klastiti, konglomerati, pješčenjaci, a zastupljeni su još i siliti i vapnenci (Pikija et al., 1986). Debljina naslaga iznosi do 200 m.

### **3.2.8. Neogen**

#### **3.2.8.1 Otnang**

U otnang su svrstane transgresivne slatkovodne naslage taložene u jezerskim, riječno-jezerskim i povremeno barskim okolišima (Šikić et al., 2014, slika 3-1). Sedimenti su zastupljeni konglomeratima, pješčenjacima, šljuncima, pijescima, glinama, laporima, vapnencima, piroklastitima, bentonitom i ugljenom. Rasprostranjene su u dolini Buzete, dolini Maje kod Klasnića povezanom širokom pojasu duž sjevernog ruba Zrinske gore od Brestika do Komogovine te kao odvojeni tektonsko-erozijski ostaci od Komogovine do Babine Rijeke, a debljina naslaga se može procijeniti na 250 – 300 m (Slika 3-1; Šikić et al., 1990).

#### **3.2.8.2. Baden**

Transgresivni sedimenti badena leže diskordantno na starijim stijenama, uglavnom paleogena i otnanga te u tom transgresivnom dijelu naslaga dominiraju klastiti (Šikić et al., 1990). Sedimenti badena (Slika 3-1) su rasprostranjeni duž ruba Glinske kotline i sjeveroistočnog oboda Zrinske gore te u prostoru između Male i Velike Utinje (D. Sjeniĉak), gdje pretežno dominiraju gline, pijesci i lapori (Magaš et al., 1990). Debljine naslaga su od 250 m do 300 m.

#### **3.2.8.3. Sarmat**

U kontinuiranom slijedu sarmatske naslage prate badenske sedimente te transgresivno naliježu na stariju podlogu duž jugozapadnog ruba Glinske kotline, dok ih na području lista OGK Sisak nalazimo gdje konkordantno i kontinuirano slijede na naslagama badena (Slika 3-1; Pikija et al., 1986). U sarmatu dominiraju dva facijesa, a to su plitkovodni vapnenaĉki i vapnenaĉko – laporoviti facijes (Pikija et al., 1986). Debljine naslaga iznose do 100 m.

#### **3.2.8.4. Panon**

Panonski sedimenti kontinuirano s postupnim litofacijsnim prijelazom, slijede na sarmatskim naslagama. Transgresivan položaj u odnosu na stariju podlogu, prisutan je duž jugozapadnog

rubu Glinske kotline, kod rijeke Gline (Slika 3-1). U panonu prevladavaju sivi, žućkastosivi i smeđasti uslojeni pijesci i poluvezani pješčenjaci, a osim njih zastupljeni su i vapnenci te vapnenački lapori (Šikić et al., 1990). Debljina naslaga iznosi 100 – 250 m.

### **3.2.8.5. Pont**

U pontu dominiraju lapori i pijesci. Donjopontski sedimenti prisutni su u Glinskoj kotlini gdje su predstavljeni isključivo laporima. Naslage gornjeg pontu nalazimo na području Zrinske i Petrove gore te su tu zastupljeni lapori i sitnozrni pijesci, a debljine ovih naslaga iznose do 100 m (Slika 3-1; Šikić et al., 1990).

## **3.2.9. Kvartar**

### **3.2.9.1. Pleistocen**

U pleistocen su svrstani sedimenti eolskog podrijetla te se tu nalazi kopneni les, a na manjem dijelu i crvene boksitične gline. U les su svrstani glinoviti i glinovito pjeskoviti siltovi, rasprostranjeni istočno i jugoistočno od Gline te u izvorišnom području Utinje i oni diskordantno leže preko miocenskih i pliocenskih sedimenata (Slika 3.1; Šikić et al., 1990). Crvene boksitične gline se nalaze na području OGK lista *Karlovac* na padinama brda s desne strane potoka Rijeka kod Krnjaka, debljine i do 40 m (Magaš et al., 1990). Les je najviše rasprostranjen na području Zrinske gore te se nalazi i na području istočne doline Gline (Slika 3-1). To je sediment eolskog podrijetla (glinovito – pjeskoviti silt) taložen na različitim starijim stratigrafskim članovima (Pikija et al., 1986).

### **3.2.9.2. Holocen**

Holocenske naslage se dijele na deluvijalne, barske i aluvijalne sedimente (Slika 3-1; Korolija et al., 1968). Deluvijalne naslage su nastale kao rezultat kombiniranog djelovanja povremeno pojačanih (bujičnih) brdskih vodenih tokova i pojačanog sezonskog djelovanja atmosferilija na brdskim padinama. Najveće količine proluvijalnog i deluvijalnog taloga su odlagane na spojištima relativno strmih potočnih tokova s glavnim potočnim ili riječnim dolinama kao i duž nižih, zablazanih dolinskih dijelova padina (Šikić et al., 1990). Barski sedimenti su izdvojeni u dolini rijeke Gline te na nekoliko mjesta u dolini Kupe (Slika 3-1). Ti sedimenti su nastali kao genetski podtip naplavinskih i denudacijsko-erozijskih procesa, a predstavljeni su glinom, glinovitim siltom i organogeno-barskom ilovinom (crnicom) (Magaš et al., 1990). Aluvijalni

sedimenti su vezani za sama područja stalnih vodenih tokova. Sastoje se od nanosa šljunaka, pijesaka, siltova, pjeskovitih i siltnih glina te nevezanih pjeskovitih muljeva, a karakterizira ih raznolikost s obzirom na granulometrijski i mineralni sastav (Pikija et al., 1986).

## 4. Metode i rezultati

### *Geomorfometrijska istraživanja reljefa – analiza digitalnog modela reljefa (DEM-a)*

Predmet istraživanja ovoga diplomskog rada se odnosi na primjenu geomorfometrije na područje Utinje, Petrinjčice i Gline kako bi se detektirale reljefne karakteristike koje bi upućivale na recentne tektoničke pokrete uz postojeće rasjede. Geomorfometrija je znanost o kvantitativnoj analizi kopnene površine (Pike, 1995., 2000a; Rasemann et al., 2004). To je suvremeni, analitičko-kartografski pristup koji analizira topografiju odnosno visine terena. Preciznije, geomorfometrija se odnosi na analizu terena i traženje reljefnih „anomalija“ u istome kako bi se odredilo moguće postojanje aktivnih tektoničkih procesa na odabranom području koristeći GIS programsko sučelje. Temeljna operacija koja se pri tim zadacima koristi u geomorfometriji je izdvajanje morfometrijskih statističkih parametara i objekata iz digitalnih modela reljefa (DEM).

DEM-ovi su primarni ulaz u morfometrijsku analizu. U GIS-u (geografski informacijski sustav), DEM predstavlja rastere ili vektorske karte koja prikazuje visinu površine terena iznad srednje razine mora ili nekog drugog referentnog horizonta (Pike et al., 2008). Morfometrijska analiza terena u ovom radu temelji se na radu s digitalnim modelom reljefa (DEM), unutar programskog paketa *ArcMap 10.1*, tvrtke *ESRI*.

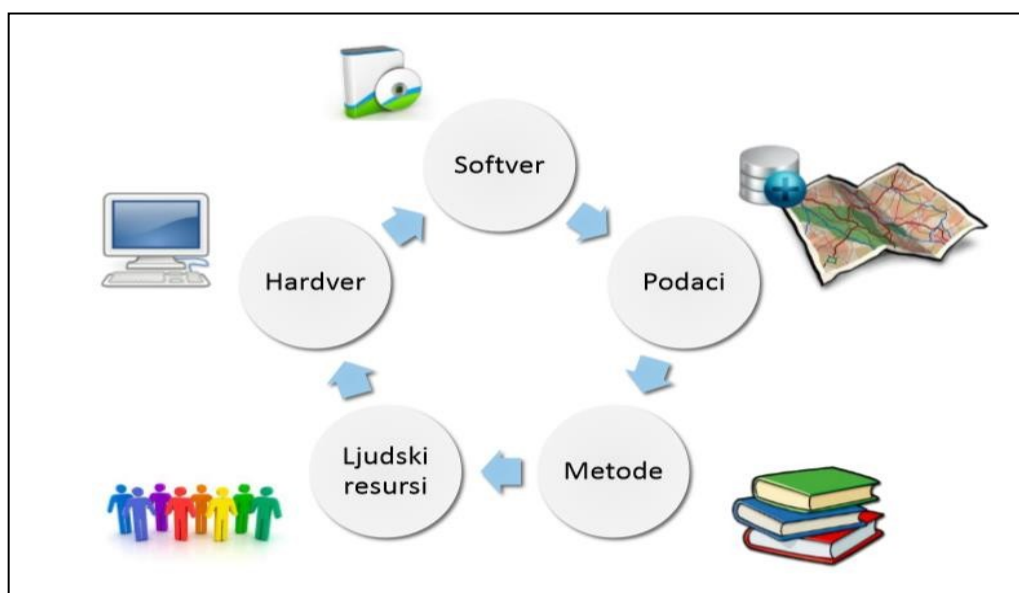
Analizirani DEM rezolucije 25 m preuzet je sa službenih stranica Europske svemirske agencije, a koji je dobiven kao dio programa Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en/project>).

U okviru ovog rada, prvi korak u analizi reljefa je izrada karte relativnog reljefa te karte nagiba terena, nakon čega se pristupa digitalnom izdvajanju slivnih područja te na temelju statističkih parametara slivova kvantitativnim metodama analizirana moguća povezanost reljefnih oblika i neotektoničkih pokreta. Glavni alat koji je korišten u tu svrhu je ekstenzija *ArcHydro Tool*. Nakon što su dobiveni rezultati iz programskog paketa isti su kabinetski analizirani i utvrđeni terenskim istraživanjem.

## 4.1 Ulazni podaci

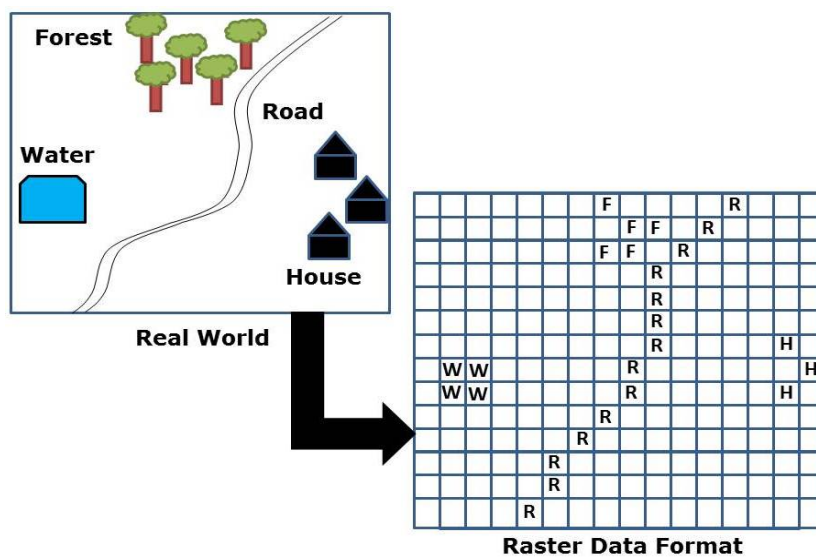
Morfometrijske analize u ovom radu provedene su pomoću geografskog informacijskog sustava (GIS) korištenjem digitalnog modela reljefa (DEM).

GIS je sustav za upravljanje prostornim podacima i osobinama pridruženim njima. To je zapravo vrsta "pametne karte" koje dopušta korisnicima analiziranje prostornih informacija i uređivanje podataka, odnosno vizualizaciju i analizu prostorno orijentiranih podataka. (Escobar et al., 2008). Struktura GIS programskog paketa je prikazana na slici 4-1.



Slika 4-1. Struktura GIS-a (preuzeto iz Lacković, 2020)

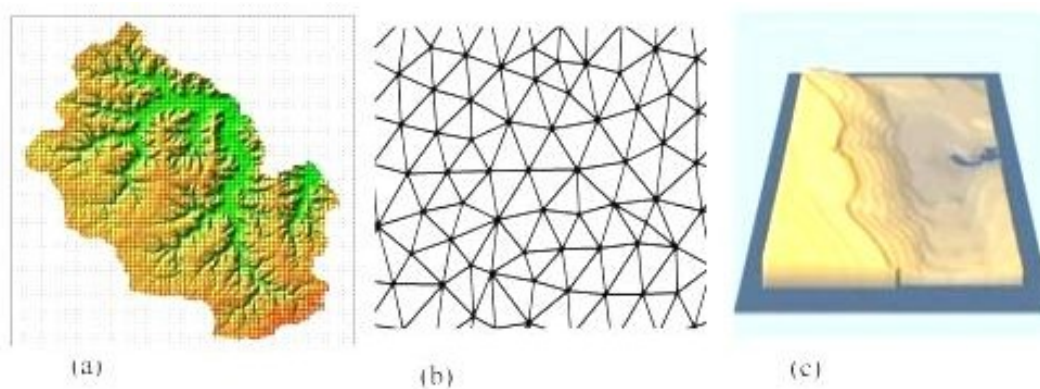
Najčešći digitalni podaci o obliku Zemljine površine su digitalni modeli reljefa (DEM-ovi). DEM podaci se koriste kao ulazni podaci za kvantificiranje karakteristika kopnene površine. DEM predstavlja rasterski ili vektorski podatak (Slika 4-2).



**Real World Feature Representation in Raster Data Format**

Slika 4-2. Rasterska matrica (<https://www.gisoutlook.com/2020/04/raster-data-formats-in-gis.html>)

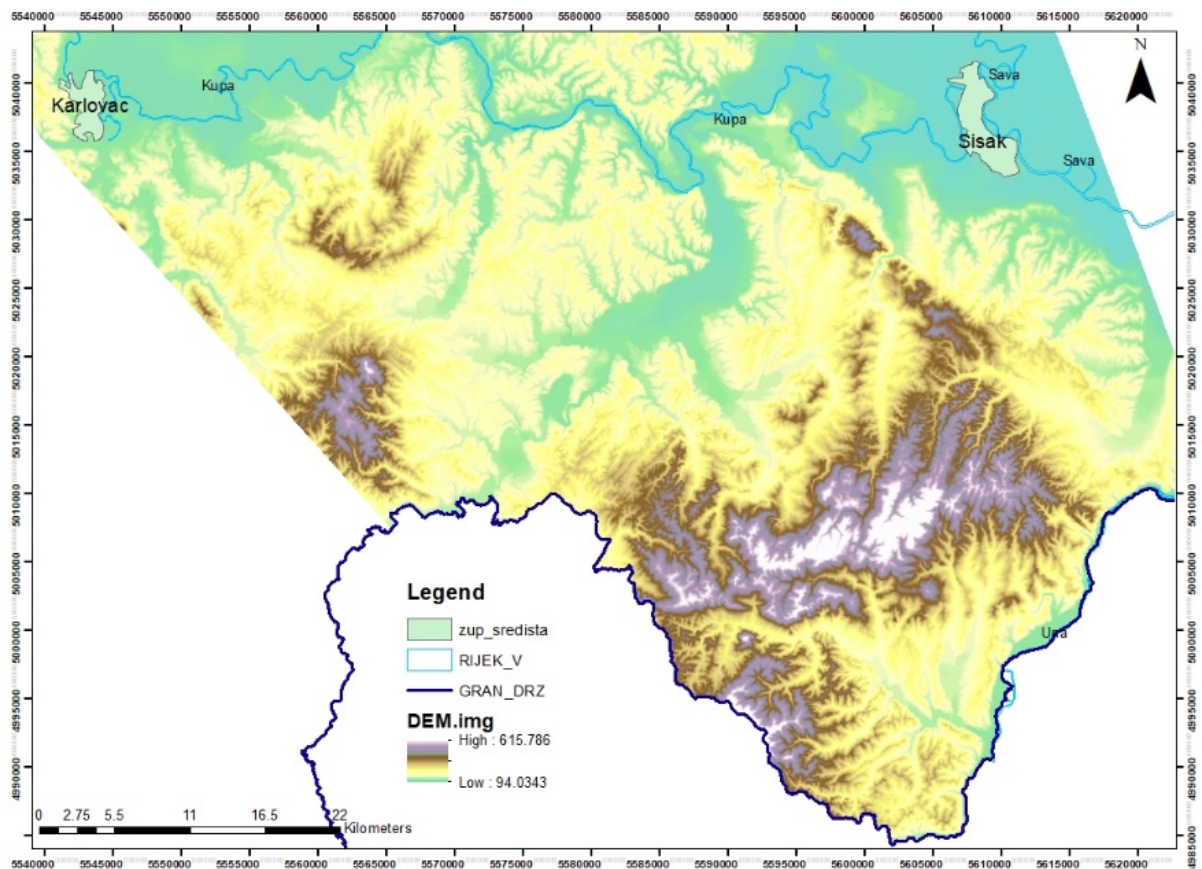
U slučaju da govorimo o rasteru to je kvadratna mreža također poznata kao visinska karta kada predstavlja nadmorsku visinu, a kada govorimo o vektorskom tipu to je *trokutasta nepravilna mreža* (engl. *triangular irregular network* - TIN) te se TIN DEM ujedno naziva i primarnim, a rasterski DEM sekundarnim (Slika 4-3; Balasubramanian A., 2017).



Different types of DEMs (a) Gridded DEM (b) TIN DEM (c) Contour-based DEM

Slika 4-3. Različite vrste DEM-ova: a) Rasterski DEM b) TIN DEM c) Konturni DEM (preuzeto iz Balasubramanian, 2017).

Točnost podataka DEM-a je određena prvenstveno njegovom horizontalnom i vertikalnom rezolucijom (udaljenost između točaka uzorka). Na Slici 4-4 je prikazan DEM područja istraživanja ovog diplomskog rada. Rezolucija korištenog DEM-a iznosi 25 metara, a dobivena je na temelju procesnog lanca koji uključuje horizontalne i vertikalne podatke te izgladivanje ulaznih slojeva kao što su: *SRTM, ASTER GDEM i ruske topografske karte*.

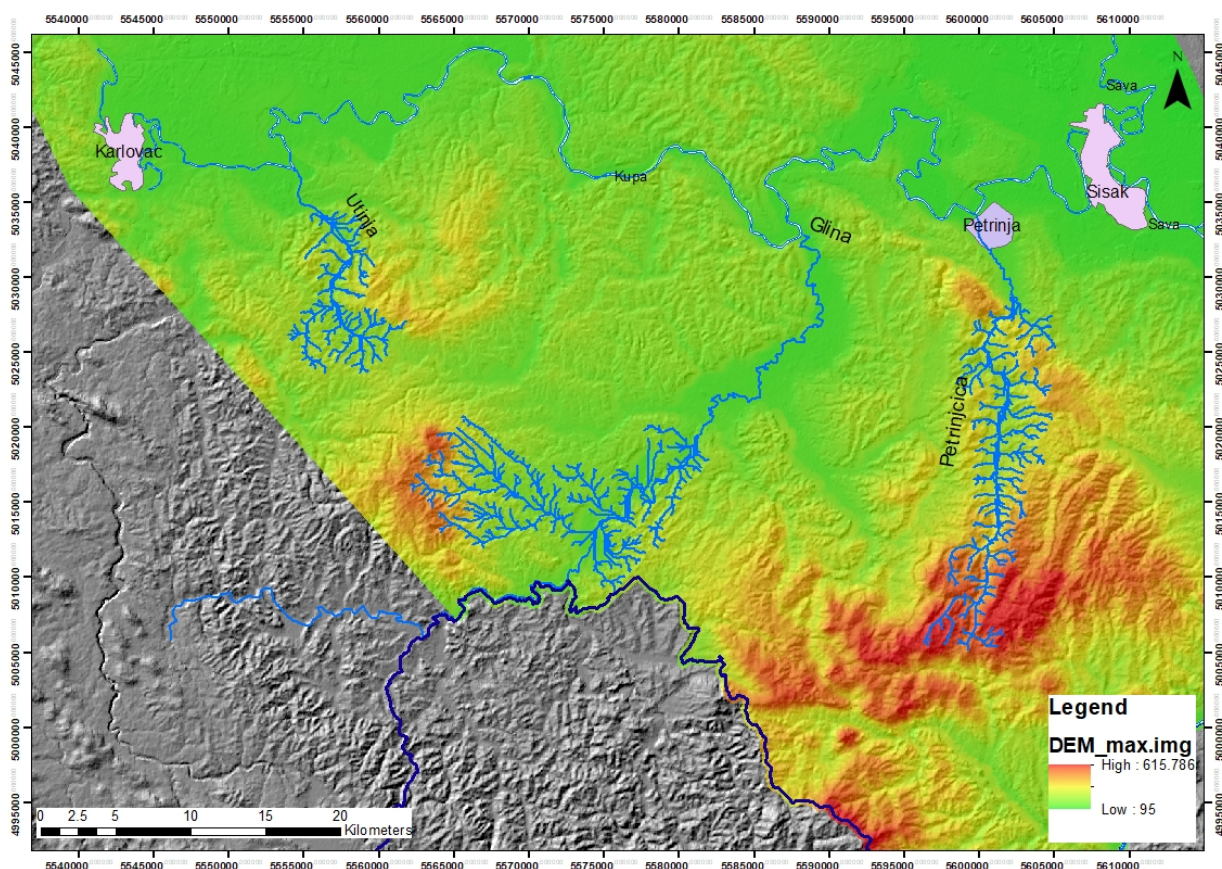


Slika 4-4. Digitalni model reljefa područja istraživanja koji je u rezoluciji 25 m preuzet od Europske svemirske agencije kao dio programa Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en/project>)

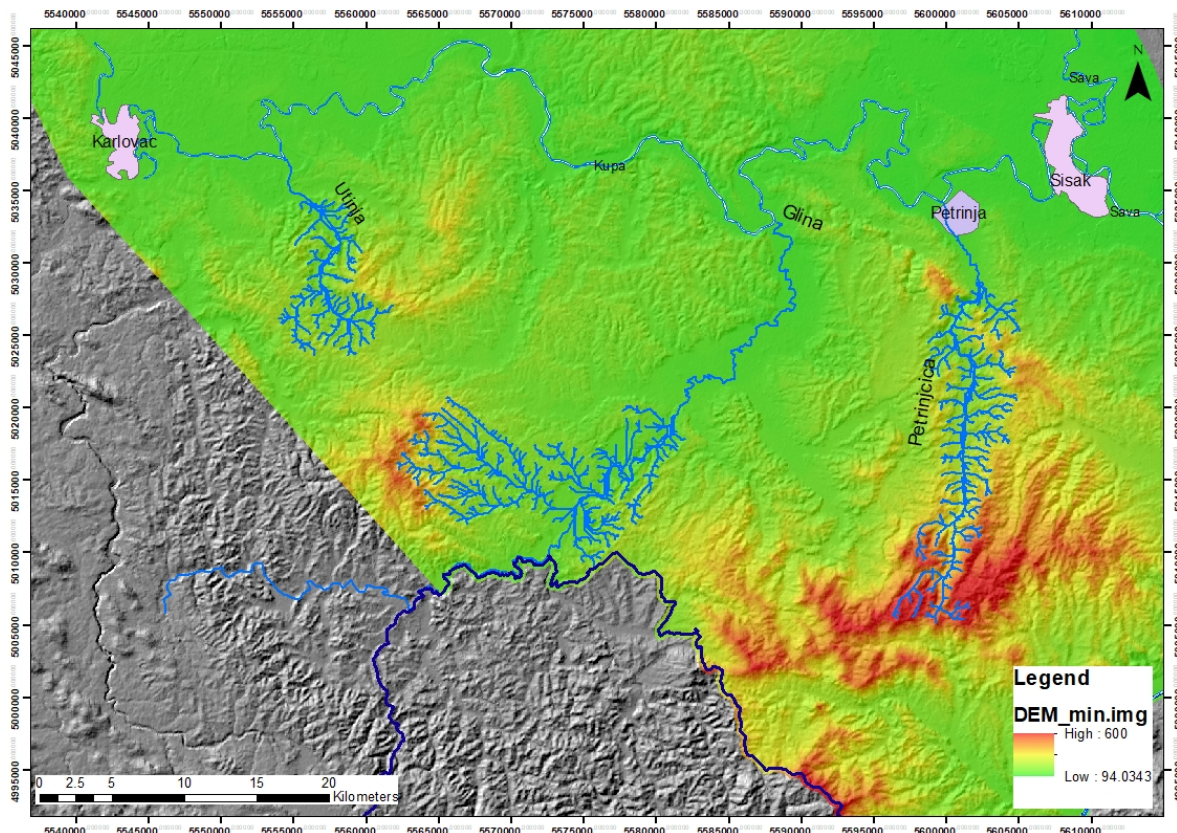


## 4.2. Reljef i nagib padina

Nadmorske visine na promatranom području kreću se od 95 do 650 metara nad morem dok je relativni reljef područja u rasponu od 0 do 285 metara. Relativni reljef predstavlja razliku najviše i najniže točke na nekom području (Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2009). Karta relativnog reljefa izrađena je pomoću metode "*statistike susjedstva*" (engl. *neighbourhood statistics*) u *ESRI ArcMap-u*, unutar uzorka polumjera **300 metara**. Taj radijus se uzima jer on predstavlja prosječnu širinu dolina na području Središnje Hrvatske i u Panonskom bazenu koja je uzrokovana intenzitetom erozije (Matoš, 2014). U izradi karte relativnog reljefa prvi je korak izrada karata maksimalnog (Slika 4-5) i minimalnog reljefa (Slika 4-6).

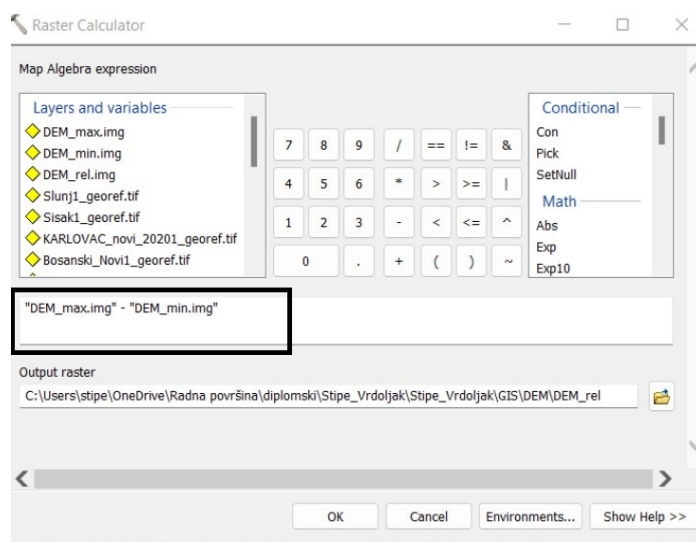


Slika 4-5. Karta maksimalnog reljefa za područje istraživanja



Slika 4-6. Karta minimalnog reljefa za područje istraživanja

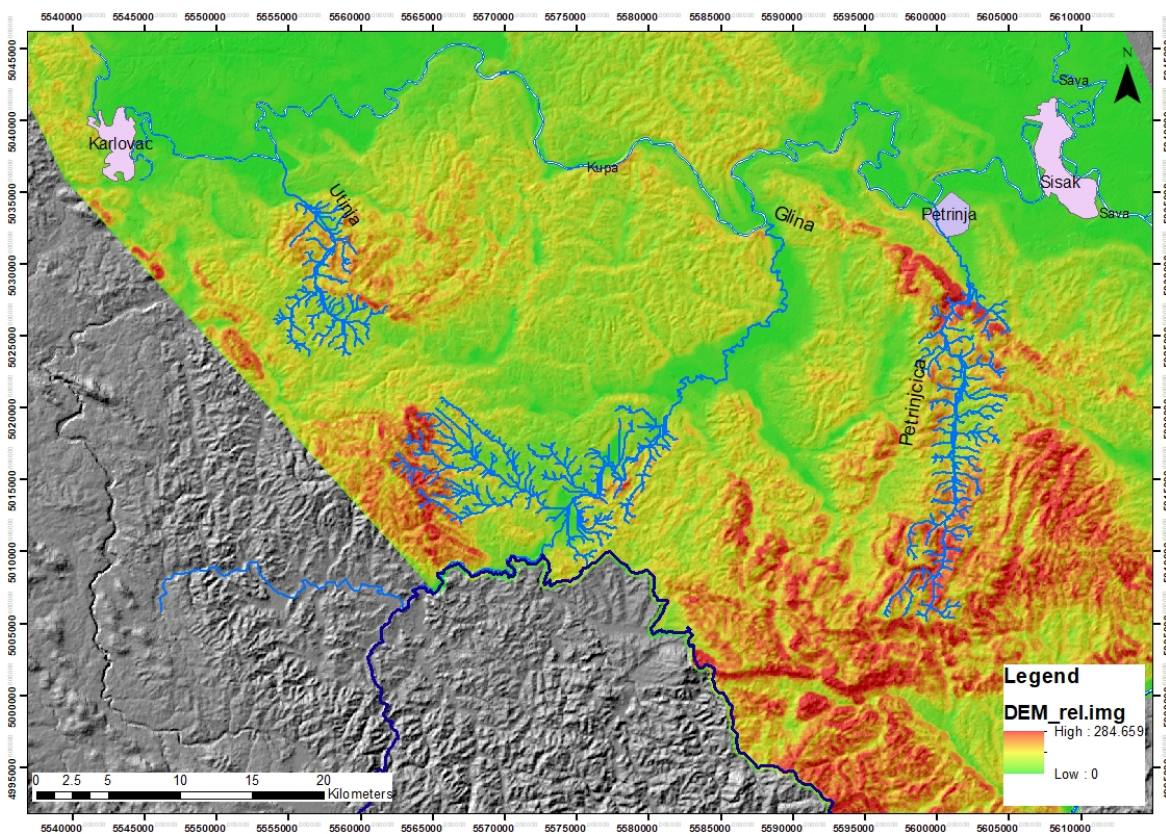
Nakon što su izrađeni rasteri maksimalnog i minimalnog reljefa, pomoću opcije *Raster Calculator* (Slika 4-7) izrađen je raster relativnog reljefa (slika 4-8) koja predstavlja razliku maksimalnog i minimalnog reljefa.



Slika 4-7. Sučelje „*Raster Calculator*“ s izračunom rastera relativnog reljefa.



Rezultati ukazuju da je raster područja obojena zelenom bojom na karti relativnog reljefa područje s naglim promjenama visina na malom području (Slika 4-8). Izdvojena područja čine duboko usječene doline, te hrptove i grebene sa strmo nagnutim padinama. Ta područja se nalaze u neposrednoj blizini Petrinje, na području Hrastovičke gore, koja se zapravo poklapaju sa Petrinjskim desnim rasjedom pružanja SZ – JI koji je uzrokovao već spomenuti Petrinjski potres u 2020. godini. Također, većinski se takva područja izrazite razlike maksimalnog i minimalnog reljefa nalaze južnije, na području Zrinske gore, gdje nemaju izrazitu orijentaciju već su povezana sa erozijom prisutnih tokova. Osim toga, manji dio izraženog reljefa se uočava i prema jugozapadu istraživanog područja, odnosno na području Zrinske gore u blizini gornjeg dijela toka rijeke Gline.



Slika 4-8. Karta relativnog reljefa područja istraživanja, gdje su zelenom bojom prikazane duboko usječene doline, hrptovi te grebeni sa strmo nagnutim padinama

Nagib padina predstavlja gradijent, tj. promjenu visine pod pravim kutom u odnosu na izohipse, neovisno o vrijednostima nadmorske visine (Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2009). Nagib padina se

dobije pomoću opcije *Slope* koja se nalazi u sklopu ekstenzije *Spatial Analyst Tool* te je isti nagib morao biti reklasificiran pomoću alata *Reclassify*. U diplomskom radu, dobiveni nagib terena je reklasificiran kako bismo mogli koristiti opciju *Zonal Histogram*, kojim su dobiveni podaci o udjelu klasa nagiba terena unutar istraživanog područja. Reklasifikacijom nagiba terena definirano je devet razreda (tablica 4-1).

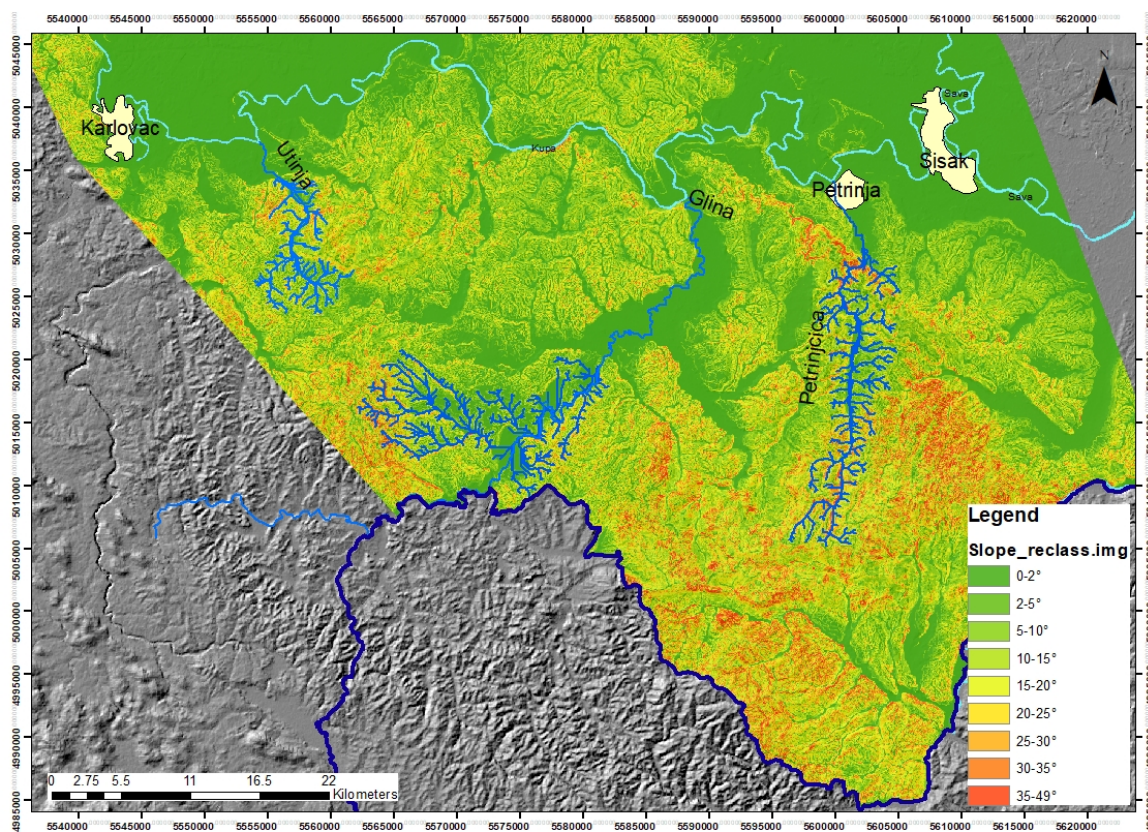
Tablica 4-1 Kategorije nagiba terena

Kategorija nagiba	Nagib terena (°)	Udio u ukupnoj površini (%)
1.	0 – 2	44
2.	2 – 5	11
3.	5 – 10	22
4.	10 – 15	14
5.	15 – 20	6
6.	20 – 25	2
7.	25 – 30	0-8
8.	30 – 35	0.17
9.	35 – 40	0.03

Nagib predstavlja posljedicu djelovanja egzogenih, geomorfoloških procesa te također služi kao dobar pokazatelj endogenih, morfostrukturnih procesa, odnosno najmlađe tektonske aktivnosti u Zemljinoj kori (Lozić, 1996). Koristeći opciju *Identify* može se vidjeti koliki su nagibi na pojedinim dijelovima terena, crvenom bojom na karti su označena područja sa višim nagibom, a zelenom bojom područja nižeg nagiba terena. Nagib terena varira od 0 – 49°, a na Slici 4-9. se lako može uočiti da prevladava teren s malim nagibom padina. Na karti nagiba padina se uočava uska strma padinska zona na sjeveroistočnim obroncima Hrastovičke gore koja se pruža dalje prema sjeverozapadu, gdje dolazi do njenog širenja. Najveća zona strmih nagiba se nalazi južno na obroncima Zrinske gore koja predstavlja hipsometrijski najviši dio istraživanog



područja te ovdje padine nemaju izraženu orijentaciju, već su nagibi uzrokovani erozijskim procesima.

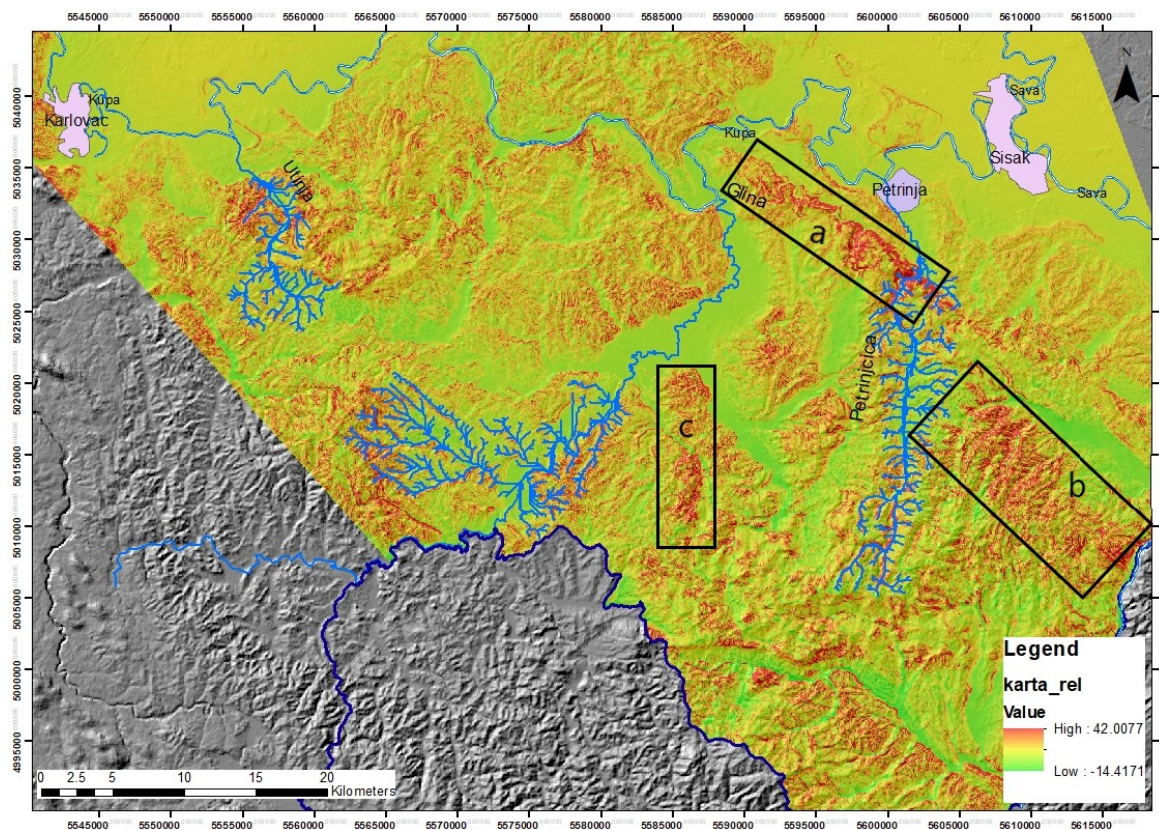


Slika 4-9. Reklasificirana karta nagiba padina istraživanog područja

Osim toga izrađena je i karta relativnih nagiba terena (Slika 4-10) koja predstavlja razliku između minimalnog i maksimalnog nagiba terena, također u radijusu od 300 m.

U okviru ArcMap programa je karta varijabilnih nagiba izrađena kao i karta relativnog reljefa, odnosno pomoću opcije *Neighbourhood statistic* te *Raster Calculatora*. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da je reljefno, najizraženija razlika u nagibu padina područje SI oboda Hrastovačke gore označeno poligonom a) na Slici 4-10, kao što je to bio slučaj i s kartom relativnog reljefa. Osim toga uočene su velike razlike u nagibu padina duž SI oboda Zrinske gore označeno poligonom b) na Slici 4-10 te malo područje u SZ dijelu Zrinske gore označeno poligonom c) na slici 4-10. Povišena varijabilnost nagiba u kombinaciji s višim vrijednostima relativnog reljefa ukazuje ili na litološke prijelaze iz čvršćih u erodibilnije naslage ili na mlade reljefne oblike koji su uzrokovani tektonskom aktivnosti na tim područjima. Veći varijabilni

nagibi terena su i ovom slučaju vezani i uz južno i jugozapadno područje istraživanog terena tj. Zrinsku i Petrovu goru.



Slika 4-10. Karta varijabilnih nagiba padina na području istraživanja.

### 4.3. Izdvajanje slivnih područja

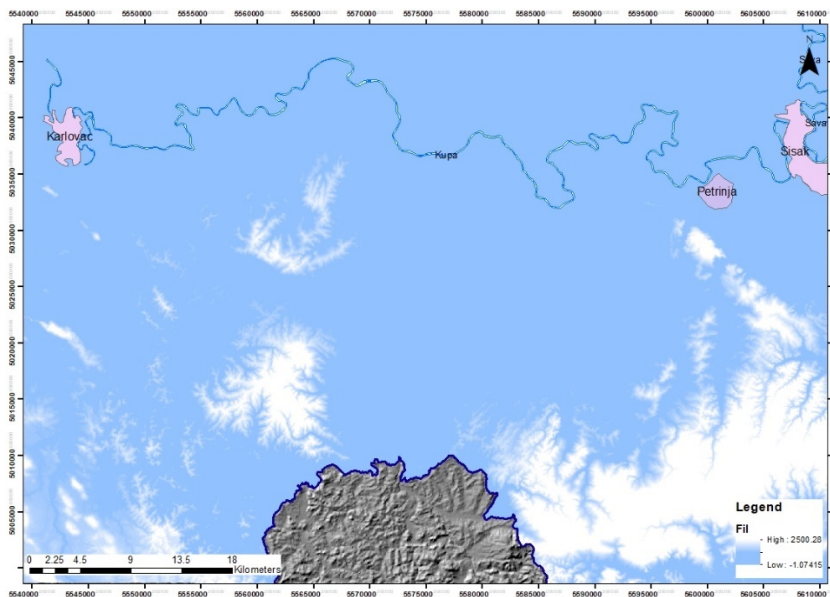
Izdvajanje slivnih područja, odnosno mikroslivova na području istraživanja je provedeno u programskom paketu *ArcMap 10.1* koristeći se ekstenzijom *Arc Hydro Tool 2.0*.

*Alat ArcHydro 2.0* je programska ekstenzija koja se koristi za analizu geoprostornih podataka u sklopu GIS programskog paketa, i to prvenstveno u domeni hidrogeologije i hidrologije. Razvijen je u svrhu generiranja informacija o hidrološkim sustavima putem hidroloških modeliranja i analiza (Zhang et al., 2010).

Metodologija izdvajanja mikroslivova i slivova je detaljno opisana u Matoš (2014), a ovdje će opis metodologije biti ukratko izložen. Prvi korak u izdvajanju mikroslivova je provesti opciju engl. *Fill sinks*, kako bi se ispunile prostorne praznine u rasteru, a koje su nastale s obzirom na

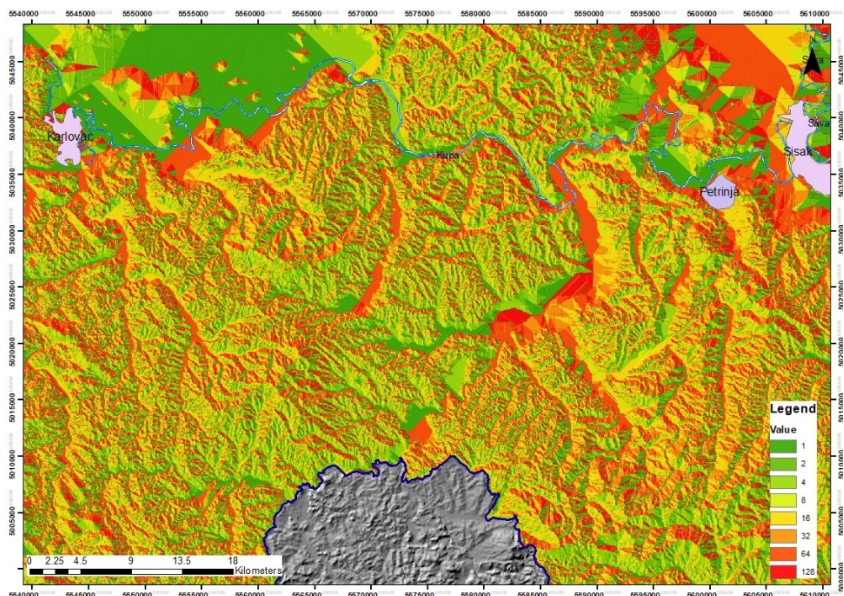


nedostatak seta podataka u mreži snimljenih podataka. Prostorne praznine u rasteru nemaju vrijednost visine (ili su označene sa 000 ili 999) te se one moraju ispuniti kako bi se mogla izvući klasifikacija i delineacija hidrološke mreže. Dakle prostorne praznine se ispunjuju sa prosječnim vrijednostima nadmorskih visina pomoću opcije *Fill Sinks* (engl. *Terrain Preprocessing - DEM Manipulation*) (Slika 4-11).

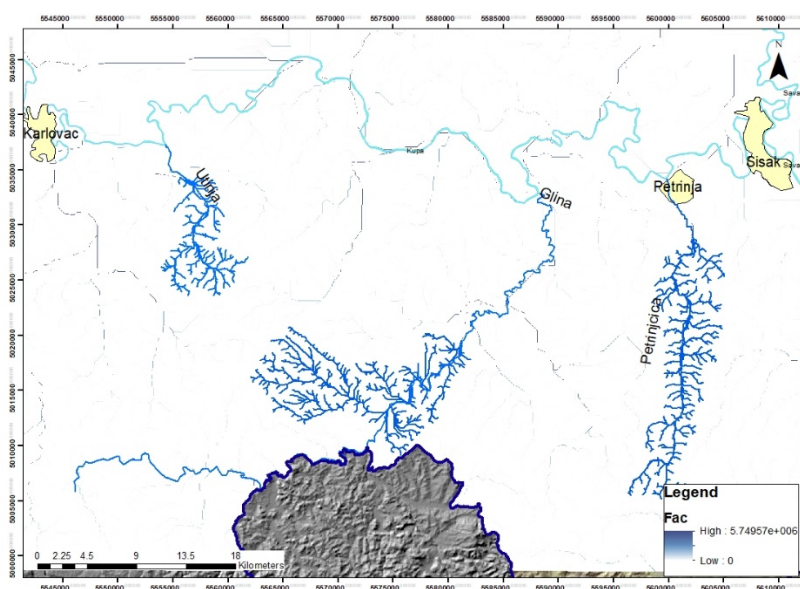


Slika 4-11. Raster sa ispunjenim prostornim prazninama (engl. *Fill Sinks*)

Nakon što se dobije ispunjeni raster potrebno je definirati smjer otjecanja površinskih tokova (engl. *Flow Direction*; Slika 4-12) i odrediti koji su naši mikroslivovi odnosno njihovo područje prihranjivanja (engl. *Flow Accumulation*; Slika 4-13).



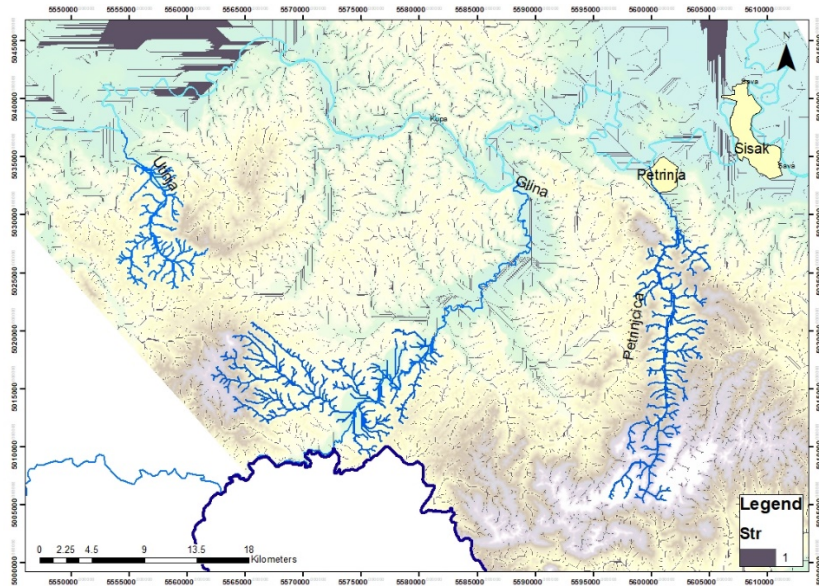
Slika 4-12. Smjer otjecanja površinskih tokova (engl. Flow Direction)



Slika 4-13. Područje prihranjivanja mikroslivova (engl. Flow accumulation)

Tim postupcima omogućeno je modeliranje početne hidrološke mreže područja istraživanja. Sljedeći korak je delineacija odnosno izdvajanje stvarne drenažne mreže pomoću opcije engl. *Stream definition* (Slika 4-14).

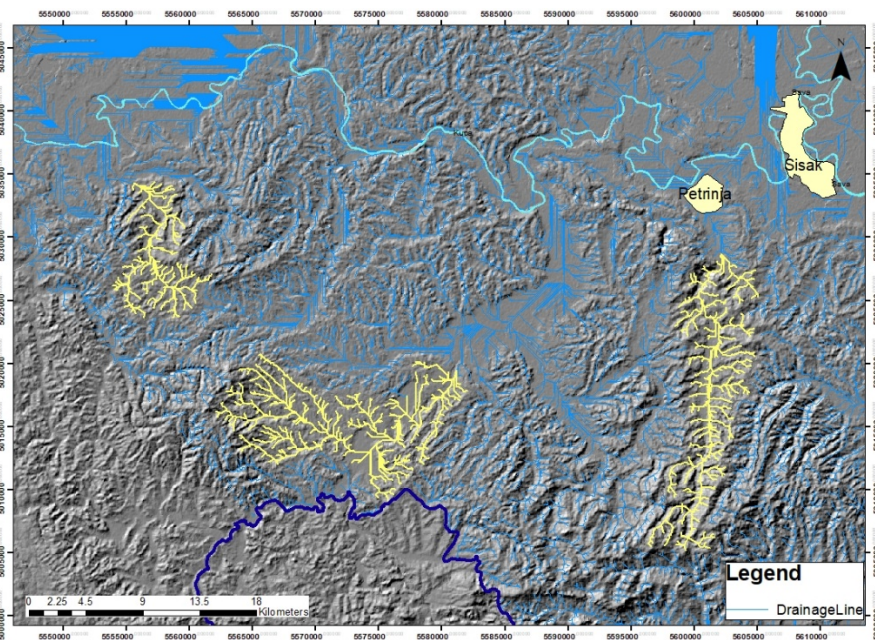




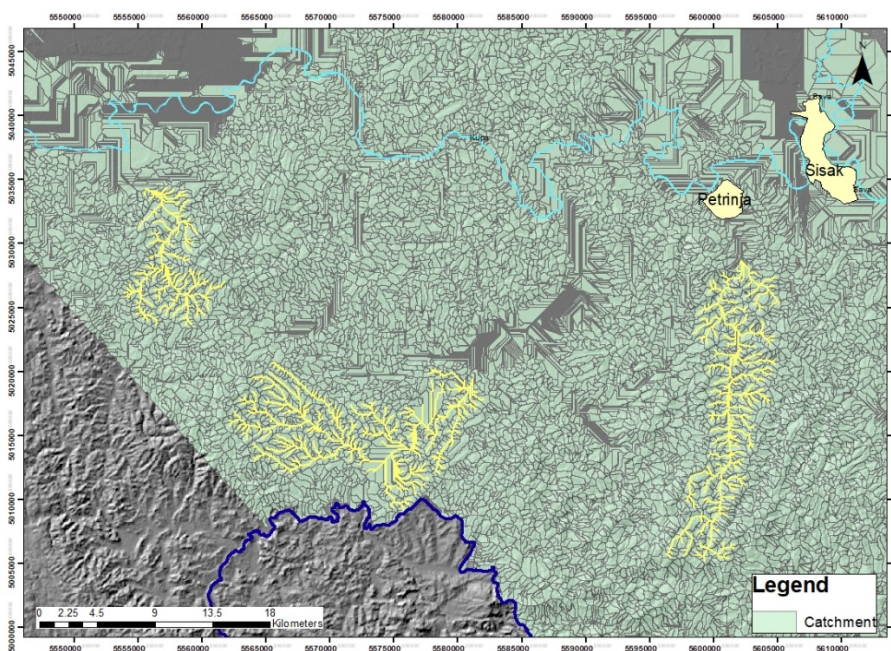
Slika 4-14. Izdvojena drenažna mreža (engl. Stream definition)

Kod tog procesa je bitan korak kojim definiramo minimalnu površinu otjecanja, a koja je potrebna da se generira stalni tok. Minimalnu površinu otjecanja nazivamo i kritičnom izvorišnom površinom terena (eng. *threshold area*), koja u ovom slučaju iznosi 0.125 km<sup>2</sup> odnosno 200 piksela. Korištena vrijednost kritične izvorišne površine omogućuje nam generiranje najvjerod

stojnije drenažne mreže koja je baza za daljnje metodološke korake. S obzirom da je generirana hidrološka mreža još uvijek u rasterskom obliku, sljedeći korak je njena transformacija u linijski *shapefile*. U tu svrhu korištena je opcija engl. *Stream Segmentation* kojom se raster dijeli na hidrološke segmente s obzirom na stupanj prioriteta pojedinih dijelova hidrološke mreže nakon čega se za svaki segment generiraju mikroslivovi, tj mikropovršine koje generiraju tokove, a to se radi s opcijom engl. *Catchment Grid Delineation*. S obzirom da su i hidrološka mreža i mikroslivovi u rasterskom obliku, u narednom koraku rasteri hidrološke mreže i mikroslivova je bilo potrebno transformirati u linijske i poligonske *shapefile-ove*, koristeći pritom opcije engl. *Drainage Line Processing i Catchment Polygon Processing* ( Slike 4-15 i 4-16).



Slika 4-15. Drenažna mreža istraživanog područja dobivena pomoću opcije *Drainage Line Processing*

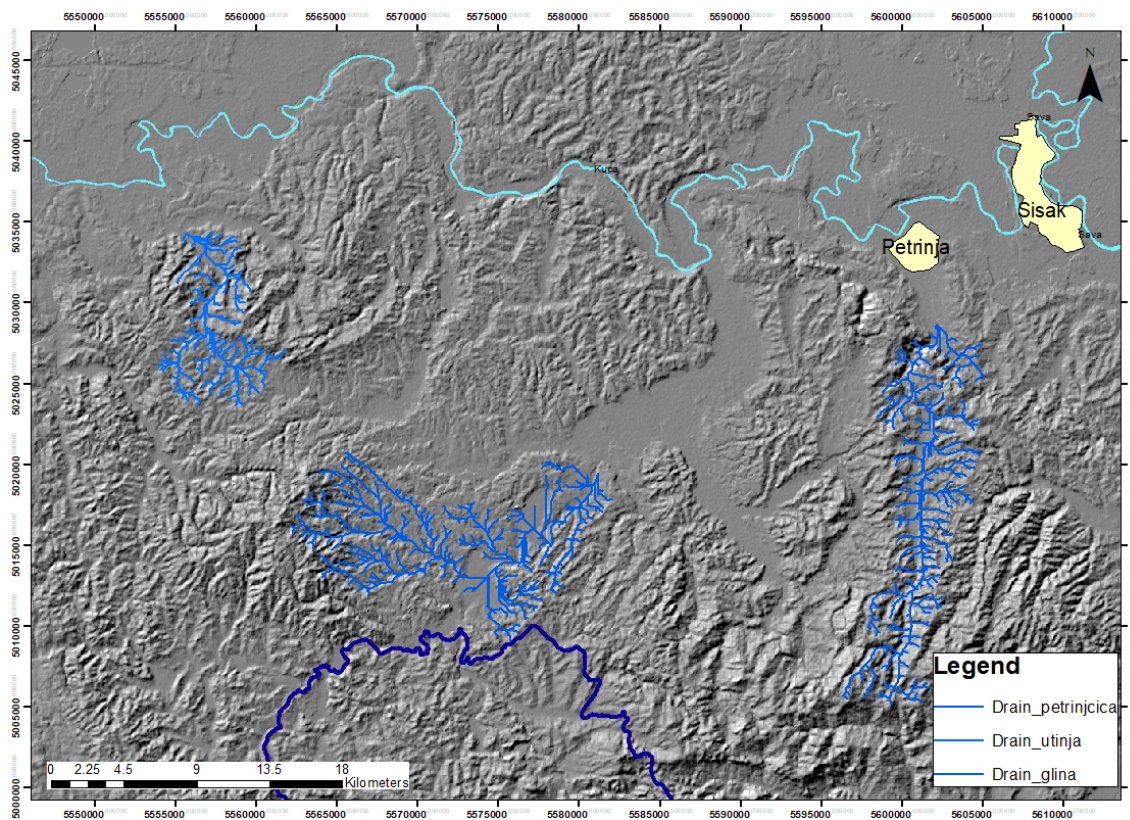


Slika 4-16. Mikroslivovi dobivena pomoću opcije *Catchment Polygon Processing*

Primjenom daljnje metodologije, morfometrijska istraživanja su fokusirana na rijeke Utinju, Glinu i Petrinjčicu. Navedene rijeke nadalje su izdvojene korelacijom softver generirane hidrološke mreže s stvarnom topografskom podlogom.



Slivovi analiziranih rijeka su izdvajani do gorskih rubova tj. čela, jer rezultati morfometrijskih analiza vrijede za domene slivova gdje dominira erozija usijecanja duž glavnog toka, u odnosu na dijelove sliva gdje prevladavaju akumulacijski aluvijalni procesi. Sliv se izdvaja tako da se pomoću alata *Identify tool* pronađe njegova najviša točka u kojoj je ujedno i izvorište sliva te se od nje dalje odabiru dijelovi drenažne mreže koji pripadaju određenom slivu. Rezultat toga je prikazan na slici 4-17.

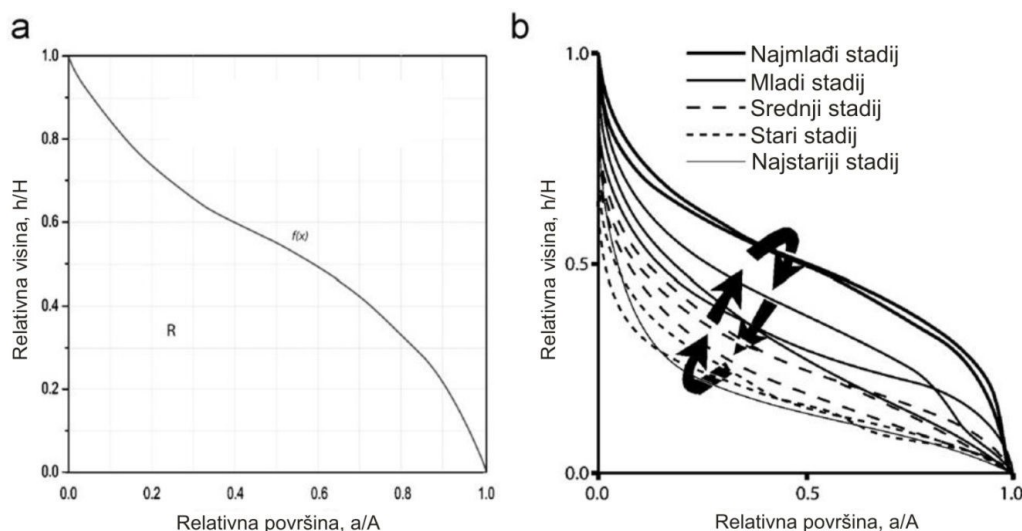


Slika 4-17. Izdvojene drenažne mreže rijeka Utinje, Gline i Petrinjčice

#### 4.4. Hipsometrijska analiza

Hipsometrijska analiza morfometrijskih jedinica tj. slivnih područja ima široku upotrebu u geomorfologiji i istraživanju aktivne tektonike te za njenu provedbu koristimo hipsometrijsku krivulju i hipsometrijski integral (Keller i Pinter, 2002). Analiza se temelji na izdvajanju hipsometrijskih, odnosno visinskih obilježja sliva i njihovoj distribuciji u slivu, a koja se

odražava kao hipsometrijska krivulja i njezina vrijednost, odnosno hipsometrijski integral. Hipsometrijska krivulja je prikladna za usporedbe slivnih područja različitih veličina, jer se relativna visina grafički prikazuje kao udio ukupnog reljefa ( $h/H$ ) u odnosu na područje ( $a$ ) iznad određene vrijednosti visine prikazano udjelom u ukupnoj površini ( $a/A$ ). Oblik hipsometrijske krivulje je povezan sa stadijima u razvoju reljefa što je prikazano na Slici 4-18.



Slika 4-18. a) Hipsometrijska krivulja. Udio površine ispod krivulje ( $R$ ) predstavlja hipsometrijski integral. Hipsometrijska krivulja je prikazana funkcijom  $f(x)$  (Strahler, 1952). b) Promjene u obliku hipsometrijske krivulje. Strelice pokazuju na smjer promjene krivulja s obzirom na erozijski ciklus (Pérez-Peña et al., 2009, modificirano prema Ohmori, 1993).

Konveksne hipsometrijske krivulje karakterizira mladi, početni erozijski stupanj reljefa, krivulje u obliku slova S tipične su za zreli erozijski stupanj, dok krivulje konkavnog oblika opisuju završni erozijski stupanj razvoja reljefa. U mladom stadiju vrijednosti nadmorskih visina su visoke, s duboko usjećenim vodotocima, u srednjem stadiju reljef je jednoliko raščlanjen, dok je u završnom stadiju prisutan niski reljef s malim visinskim razlikama (Keller i Pinter, 2002; Pérez-Peña, 2009). Na Slici 4-19 je prikazan odnos stadija razvoja reljefa i izgleda hipsometrijske krivulje.

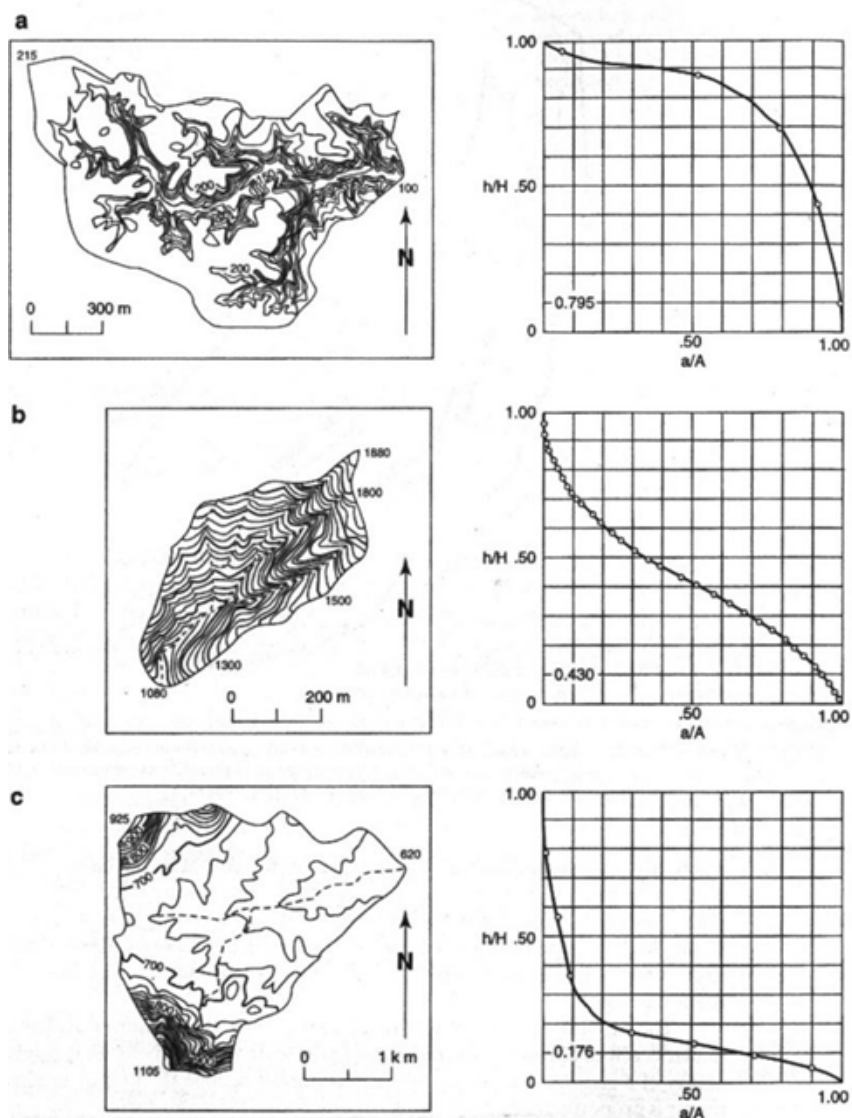


Figure 4.2 Three examples of different values of the hypsometric integral. See text for explanation. (After Strahler, 1952 [2].)

Slika 4-19. Odnos izgleda hipsometrijske krivulje i stadija razvoja reljefa: a) početni stadij b) zreli stadij c) završni stadij (Keller i Pinter, 2002).

Hipsometrijski integral odgovara površini ispod hipsometrijske krivulje te je na taj način povezan sa njenim oblikom, on je jedan od ključnih parametara u morfometriji i koristi se da bi se odredile vremeske faze geomorfološkog razvoja.

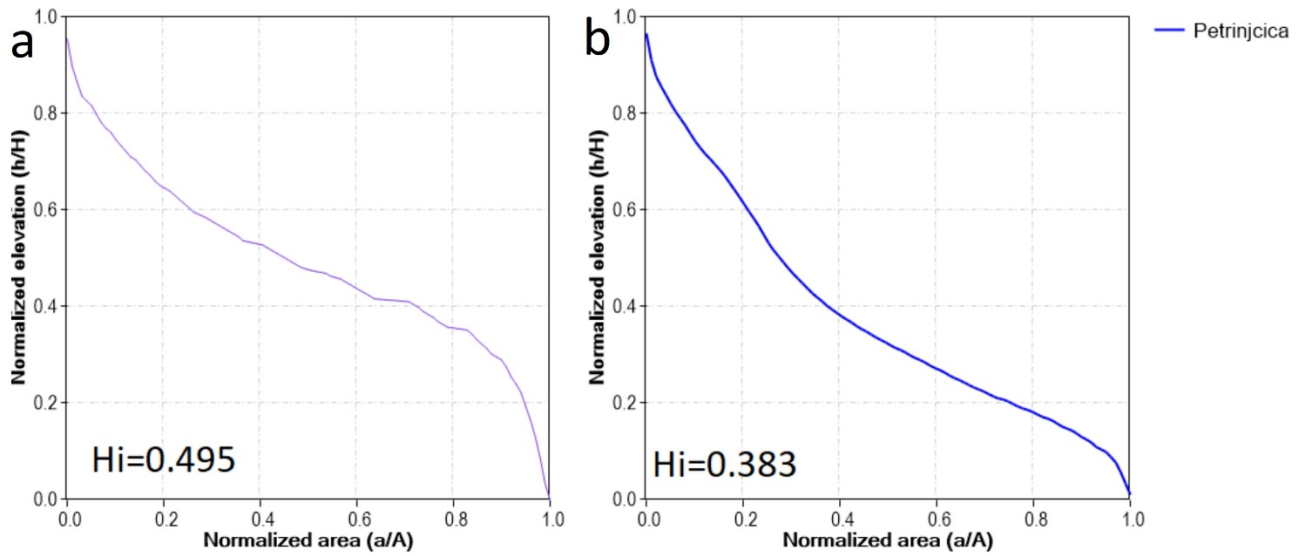
Formula za izračun hipsometrijskog integrala glasi (1):

$$H_i = (h_{\text{prosjek}} - h_{\text{min}}) / (h_{\text{max}} - h_{\text{min}}) \quad (1)$$

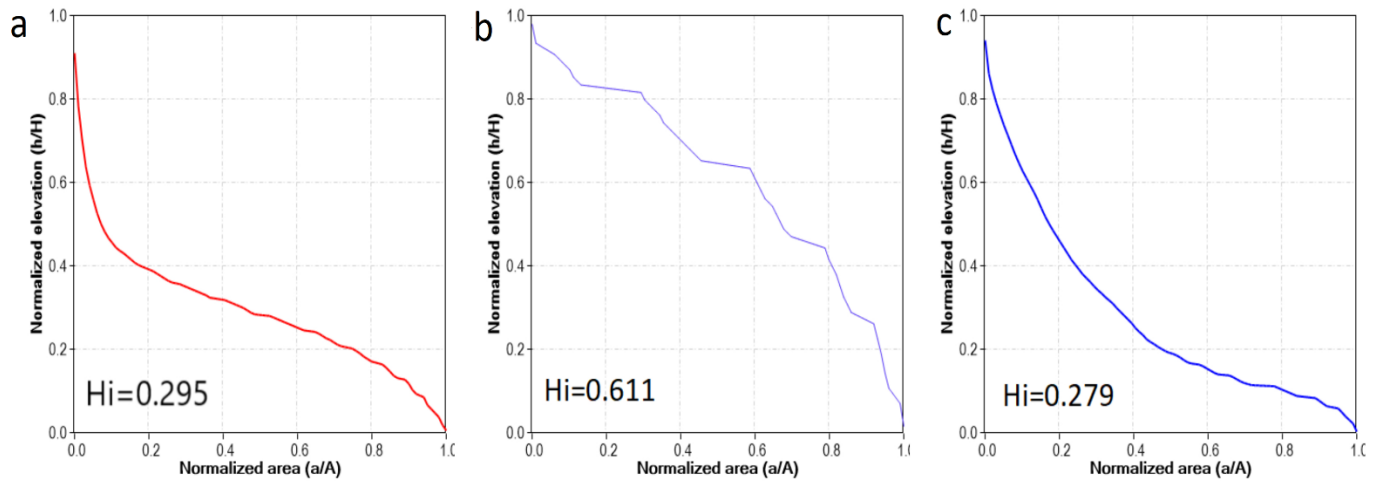
gdje je  $H_i$  hipsometrijski integral,  $h_{\text{prosjek}}$  vrijednost prosječne visine, a  $h_{\text{min}}$  i  $h_{\text{max}}$  su minimalne i maksimalne vrijednosti visina unutar sliva. Vrijednost hipsometrijskog integrala kreće se u rasponu od 0 do 1. Tako vrijednosti bliže 1 karakteriziraju konveksne krivulje, tipične za mladi stadij oblikovanja reljefa, dok vrijednosti bliže 0 odgovaraju konkavnim krivuljama, tipičnim za završni stadij oblikovanja reljefa. Pri ovoj analizi je bitno znati da su ekstremno visoke ili niske vrijednosti hipsometrijskog integrala indikator potencijalnih reljefnih anomalija odnosno moguće tektonske aktivnosti (Strahler, 1952; Keller i Pinter, 2002; Perez-Pena et al., 2009).

U okviru ovoga rada hipsometrijske krivulje i hipsometrijski integrali su izračunati pomoću GIS ekstenzije *Callhypso* (Pérez-Peña et al., 2009). Ta ekstenzija izdvaja podatke iz digitalnog modela reljefa s površine slivnog područja te računa relativne visine i površine. Ekstenzija je izrađena u programskom jeziku *Visual Basic 6* te je integrirana u sučelje programa *ESRI ArcMap*. U sučelju *ArcMap* programa ekstenzija se sastoji od 3 glavna prozora koja korisniku omogućavaju odabir podataka za analizu, vizualizaciju hipsometrijske krivulje te izdvajanje statističkih podataka vezanih za krivulju. Glavna prednost ove ekstenzije je to što korisnik može istovremeno izvući veći broj hipsometrijskih krivulja u sklopu GIS projekta te dobiti statističke parametre vezane uz dobivene krivulje (Perez Pena, 2009).

Dobivene vrijednosti hipsometrijskog integrala za istraživane slivove se kreću između **0.279** i **0.611**, a prosječna vrijednost je **0.412**. Vidljivo je da su kod slivova **Petrinjšćice** i **Rijeke** vrijednosti hipsometrijskog integrala blizu prosjeka, odnosno hipsometrijski integral rijeke Petrinjšćice iznosi **0.495**, a sliva Rijeka **0.383**, što je i prikazano na Slici 4-20. Dok kod slivova **Utinje**, **Crne Rijeke** i **Perne** vrijednosti variraju od izrazito niskih do visokih, a to se može vidjeti na Slici 4-21. **Kod Utinje je to vrijednost 0.295, kod Crne Rijeke 0.611, a kod sliva Perna 0.279, što upućuje na potencijalno nejednoliku tektonsku aktivnost.** Rezultati ukazuju da krivulje i vrijednosti hipsometrijskih integrala u slučaju slivova **Utinje** i **Perne** ukazuju na slivove u zreom stadiju oblikovanja reljefa, dok se u slučaju sliva **Crne Rijeke** radi o prijelazu iz mlađeg u stariji stadij oblikovanja reljefa.



Slika 4-20. Hipsometrijska krivulja sa vrijednostima hipsometrijskog integrala u donjem lijevom uglu sliva Rijeke (a) te sliva Petrinjčice (b)



Slika 4-21. Hipsometrijska krivulja sa vrijednostima hipsometrijskog integrala u donjem lijevom uglu slivova Utinje (a), Crne Rijeke (b) te Perne (c)

## 4.5. Longitudinalni profili

Longitudinalni profil vodotokova je grafički prikaz presjeka nadmorskih visina vodotoka od izvora do ušća. Najčešće su to normalizirane, ugađene krivulje, s blagim gradijentima u donjem dijelu krivulja čija se zakrivljenost postupno povećava uzvodno (Keller i Pinter, 2002).

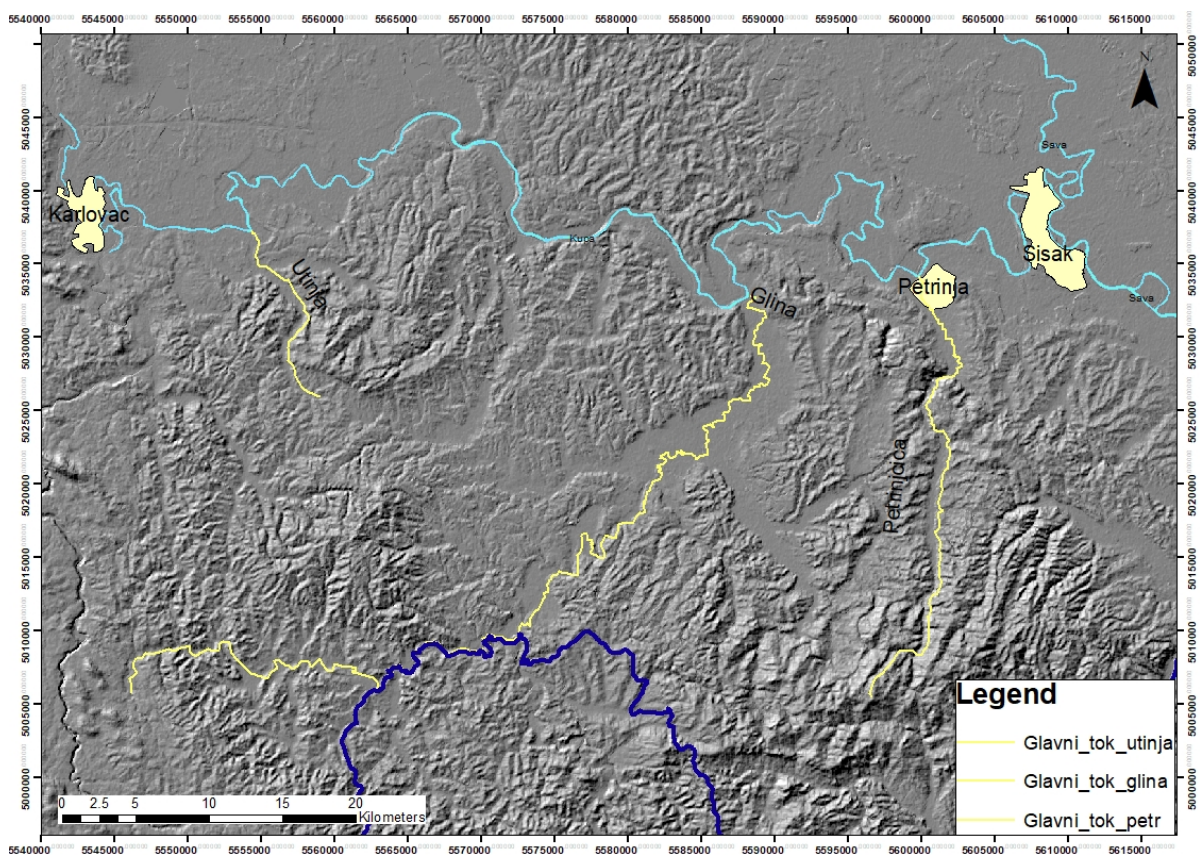
Analiza oblika i anomalija longitudinalnih profila omogućuje praćenje pojava potencijalno recentne tektonske aktivnosti i time pridonosi znanju o neotektonskom razvoju područja. Najrašireniji i najpoznatiji uzrok anomalija longitudinalnog profila je prisutnost rasjeda s vertikalnim pomakom. Ostali razlozi mogu biti vezani uz razlike u otpornosti stijena na fluvijalnu eroziju, dublje usijecanje većih potoka, lokalni utjecaj ulijevanja pritoka, utjecaj vegetacije, akumulaciju sedimenata u koritu potoka ili pak ljudsku aktivnost (Bil, 2002; Hartvich, 2005; Radoane et al., 2003).

Radi lakše međusobne usporedbe longitudinalnih profila, u ovom istraživanju korišteni su normalizirani longitudinalni profili. Prema Ruszkiczay-Rudiger et al. (2009), normalizirani profili karakterizirani su s tri statistička parametra: maksimalnom konkavnosti ( $C_{max}$ ), normaliziranom udaljenosti maksimalne konkavnosti od izvora ( $\Delta l/L$ ) i indeksom konkavnosti ( $C_f$ ). Maksimalna konkavnost predstavlja najveću udaljenost od profila glavnog toka do pravocrtne linije koja spaja izvor i ušće, dok je indeks konkavnosti površina između te linije i profila glavnog toka. Vrijednost indeksa konkavnosti teoretski je između 0 (0%) i 0.5 (50%). Veće vrijednosti indeksa konkavnosti ukazuju na konkavniji profil ili veću graduiranost potoka, tj. stanje balansa između egzodinamskih i endodinamskih procesa. Graduirani riječni tokovi imaju karakterističan konkavni longitudinalni profil s položajem maksimalne konkavnosti blizu izvora. Ukoliko postoji odstupanje od graduiranog oblika longitudinalnog profila to nam upućuje na potencijalni utjecaj strukturno-litoloških obilježja terena na evoluciju longitudinalnog profila (Demoulin, 1998, Molin et al, 2004; Ruszkiczay-Rudiger et al., 2009).

U provedenim istraživanjima na području Banije, za izradu longitudinalnog profila bilo je potrebno odrediti glavne tokove slivova. U daljnjem tekstu će biti opisana procedura izrade longitudinalnog profila koje je opisano u Matoš (2014). Glavni tokovi izdvojeni su opcijom *Select Features*, koja je označila tok od najviše točke terena sve do ušća. te je pomoću opcije *Export data* tok izdvojen kao zasebni linijski *shp* file. Kako su glavni tokovi analiziranih rječica

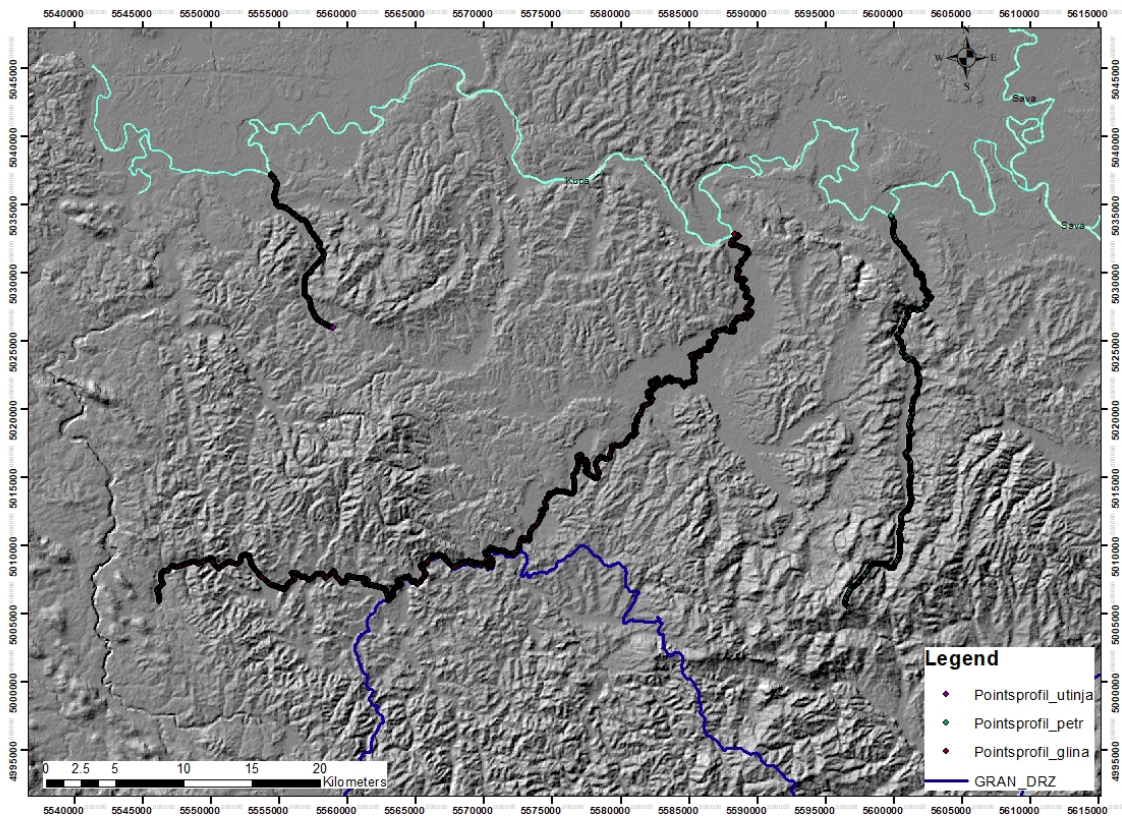


bili sačinjeni od nekoliko segmenata isti su opcijom (*Generalization - Dissolve*) povezani u jedinstvene glavne tokove (Slika 4-22).



Slika 4-22. Izdvojeni glavni tokovi rijeka Utinje, Gline i Petrinjice korišteni za izradu longitudinalnih profila samih rijeka

U narednom koraku, glavni tokovi izdvojenih slivova razdijeljeni su na niz mikrolokacija, tj. točkasti *shapefile* kako bi se odredile X, Y i Z koordinate potrebne za izradu profila. Procedura je podrazumijevala da se u *ArcCatalog-u* izrade točkasti *shapefile-ovi* koji su dodavani u projekt. Koristeći opciju *Edit* izrađen je niz točkica duž glavnog toka s razmakom od 25 m (ograničenost rezolucijom digitalnog modela reljefa) te je taj korak prikazan na slici 4-23.

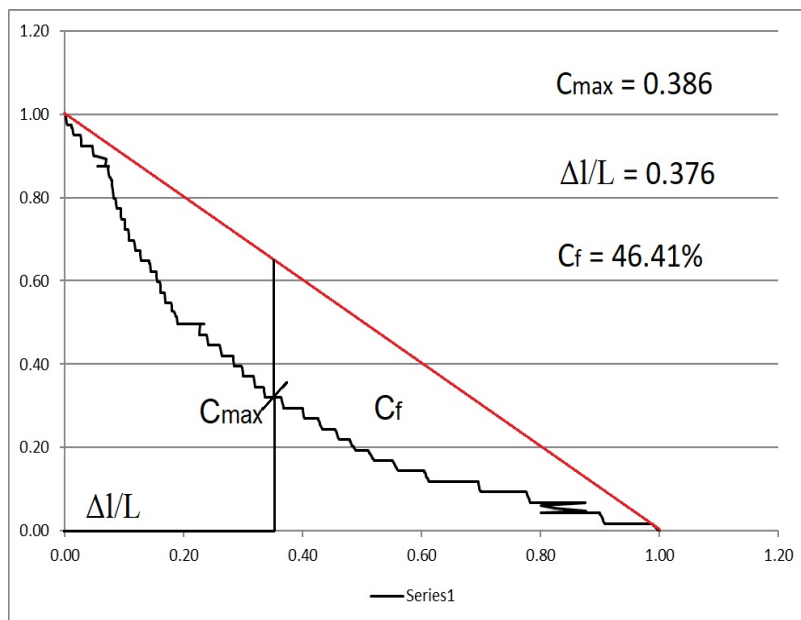


Slika 4-23. Pointsprofili istraživanih rijeka

Nakon toga je definirana udaljenost svake točke na izdvojenim tokovima od izvora (engl. *Flow Length*) te se pomoću tih podataka izrađuje raster kojim je moguće odrediti udaljenost svake točke na toku od izvorišta. U narednom koraku, pomoću opcije *Extraction – Sample* prikupljene su informacije o X, Y, Z koordinatama točaka koji čine glavni tok od izvorišta do ušća. Koristeći *Microsoft Excel* s podacima o nadmorsoj visini, x,y koordinatama te udaljenosti točaka od izvorišta (*Flow Length*), koji predstavlja lokciju piksela duž stvarnog toka, proračunati su statistički parametri longitudinalnih profila: maksimalna konkavnost ( $C_{max}$ ), normalizirana udaljenost maksimalne konkavnosti od izvora ( $\Delta l/L$ ) i indeks konkavnosti ( $C_f$ ).

- *Rijeka Petrinjčica*

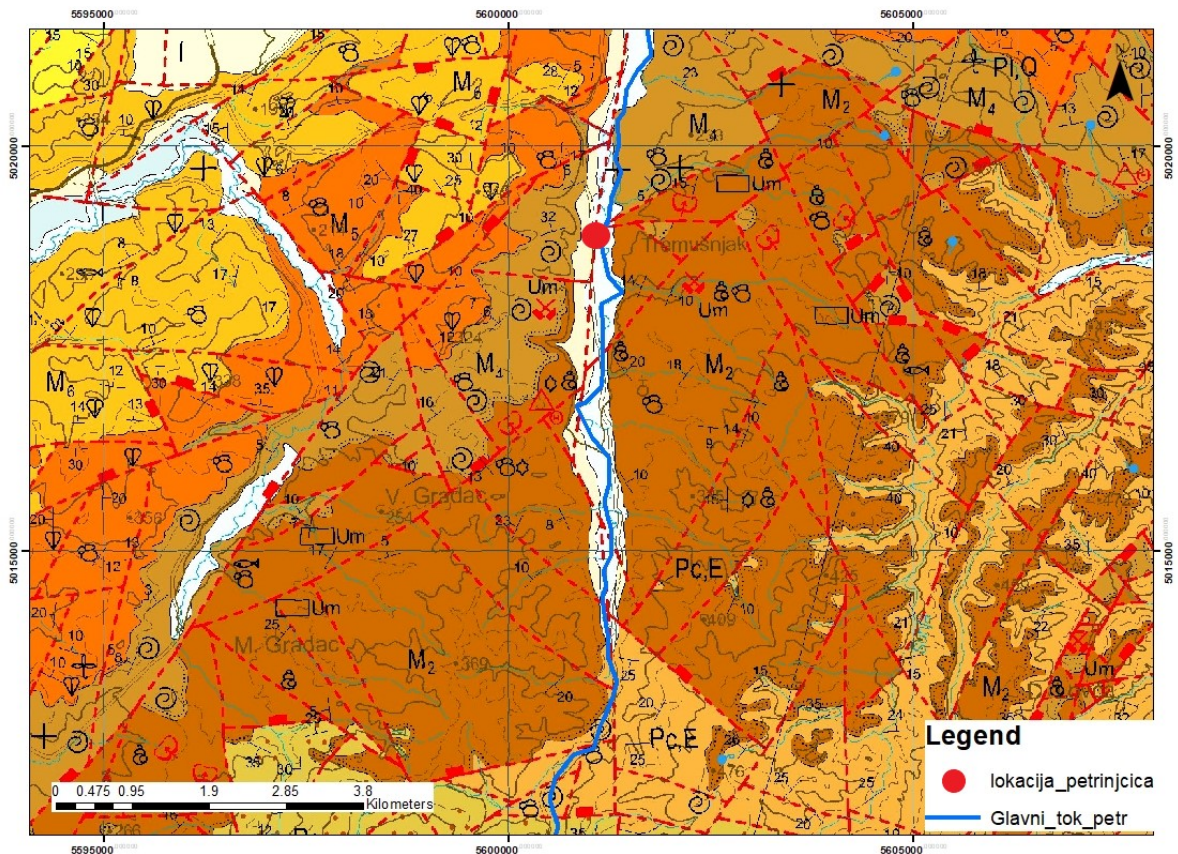
Na Slici 4-24 je prikazan normalizirani longitudinalni profil za rijeku Petrinjčicu. Rezultati ukazuju na veličinu maksimalne erozije unutar sliva koja iznosi 0,386, a  $\Delta l/L$  nam prikazuje gdje se točno nalazi maksimalna erozija na profilu te iznosi 0,376, dok  $C_f$  prikazuje dio koji je erodiran, u slučaju rijeke Petrinjčice, 46,41% je erodirano.



Slika 4-24. Longitudinalni profil za rijeku Petrinjčicu

Na temelju dobivenih podataka, koristeći se *Microsoft Excelom* u narednom koraku očitane su mikrolokacije vrijednosti maksimalne erozije. Mikrolokacije su uspoređene s geološkom kartom (Slika 4-25.) lista Bosanski Novi (Šikić et al., 1990) pri čemu je vidljivo da je mikrolokacija maksimalne erozije pozicionirana na sjecištu dvaju pretpostavljenih rasjeda gdje su stijene vjerojatno značajno tektonizirane i razlomljene (Slika 4-25). Izdvojena prijelomnica je u daljnjim koracima bila obrađena terenskim radom kako bi se utvrdilo je li ona uzrokovana recentnom tektonikom.

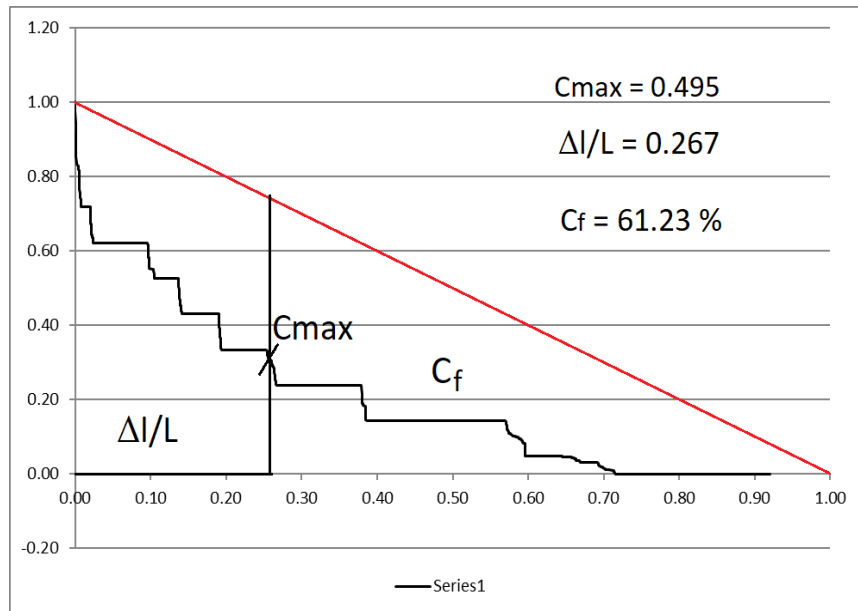




Slika 4-25. Lokacija maksimalne erozije za rijeku Petrinjčicu

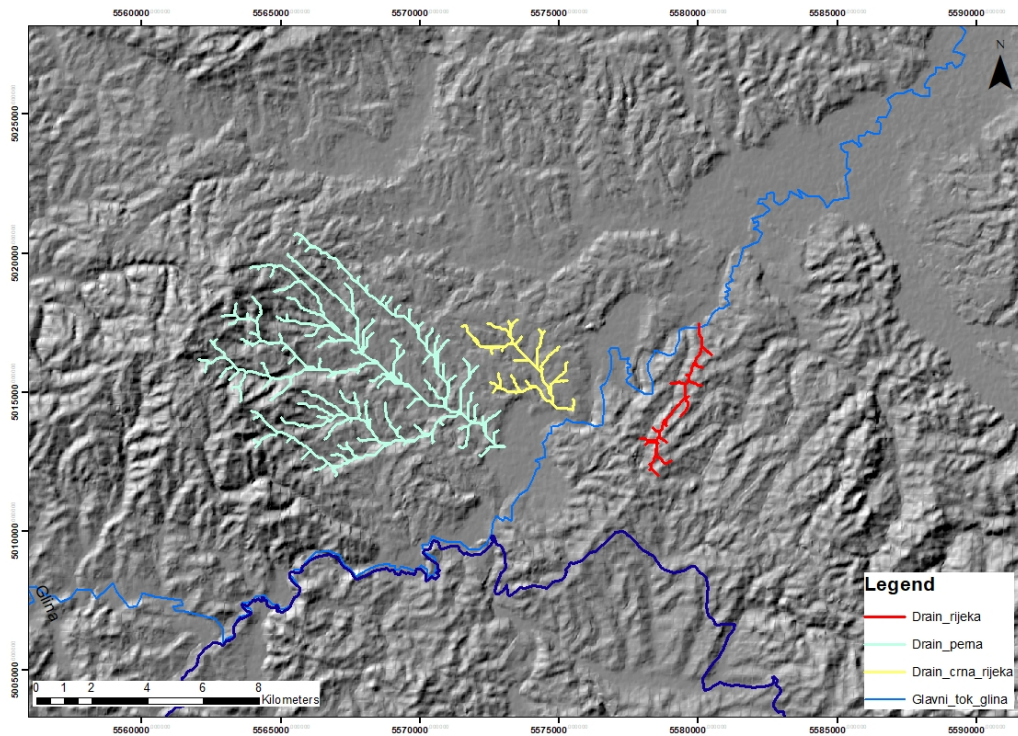
- *Rijeka Glina*

Nadalje, isti postupak je ponovljen i za rijeku Glinu te je nakon izdvajanja glavnog toka dobiven longitudinalni profil (Slika 4-26) iz kojega je očitana vrijednost maksimalne erozije od 0.495, dok je erodirana površina 61,23% što upućuje na stanje balansa između erozije i akumulacije. Nažalost, dobiveni longitudinalni profil nije bio iskoristiv za određivanje anomalnih mikrolokacija zbog nedovoljne rezolucije korištenog DEM-a te je u ovom slučaju za precizniju analizu toka bilo potrebno pristupiti drugom postupku, odnosno korištenju *Google Earth* aplikacije.



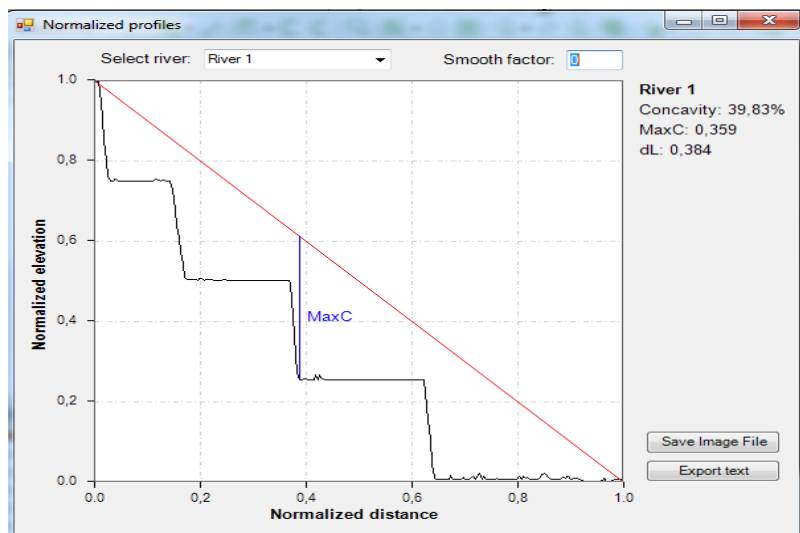
Slika 4-26. Longitudinalni profil za rijeku Glinu

S obzirom na slabu rezoluciju korištenog digitalnog modela reljefa, u narednom koraku korišteni su hipsometrijski podaci dostupni putem aplikacije *Google Earth*. No, prije nego što se pristupilo metodi korištenja aplikacije *Google Earth* sliv rijeke Gline podijeljen je na tri manja mikrosлива koji su dodatno morfometrijski analizirani kako bi se pokušali prikupiti bolji rezultati za analizu. Radi se o mikroslivovima rječica/potoka Crna Rijeka, Perna i Rijeka koji su prikazani na slici 4-27.

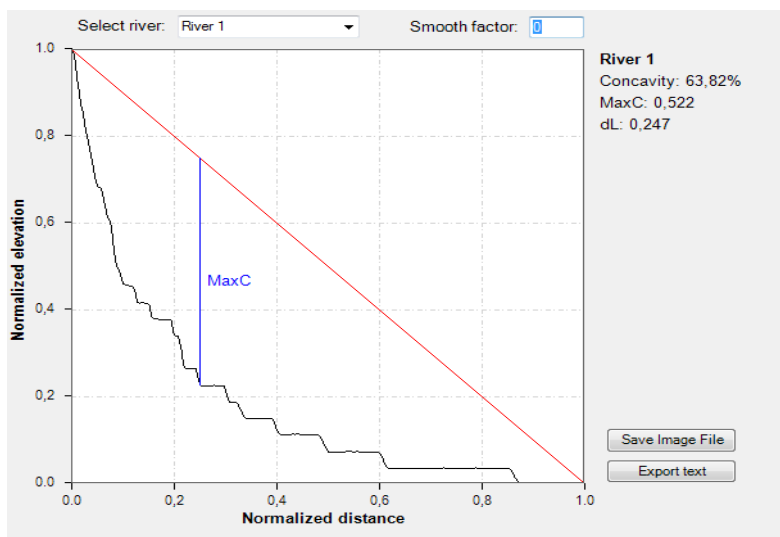


Slika 4-27. Izdvojeni slivovi rijeke Gline (potoci/slivovi Rijeka, Crna Rijeka i Perna)

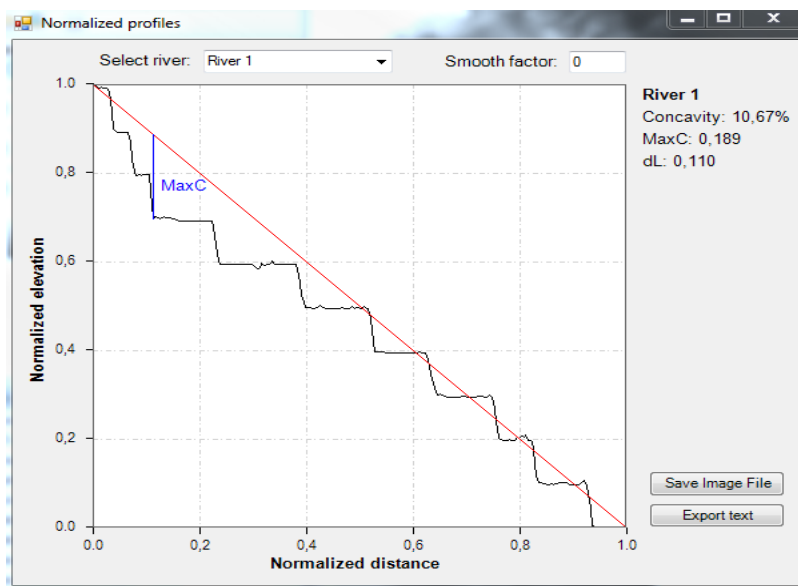
Za sva tri izdvojena sliva su provedeni isti postupci kao gore navedeni te su dobiveni rezultati longitudinalnih profila koji se mogu vidjeti na Slikama 4-28, 4-29 i 4-30.



Slika 4-28. Longitudinalni profil sliva Crna Rijeka



Slika 4-29. Longitudinalni profil sliva Perna



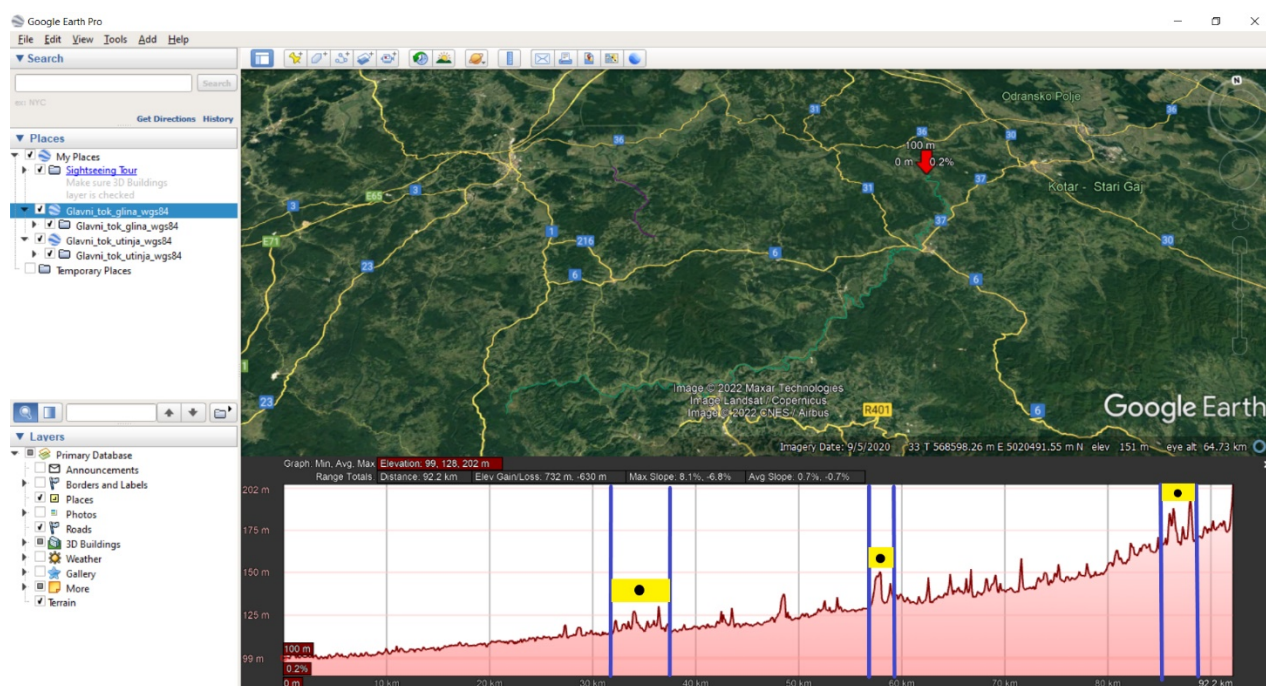
Slika 4-30. Longitudinalni profil sliva Rijeka

Na žalost, ni ti rezultati nisu bili dovoljno dobri za odredbu morfometrijskih obilježja slivova i potencijalnih točaka prijelomnica. Iz priloženih slika vidljivo je kako kod slivova **Rijeka** i **Crna Rijeka** postoji očito odstupanje od konkavnog oblika te indeksi konkavnosti iznose samo 10,67 % za sliv **Rijeka** te 39,83% za sliv **Crna Rijeka** što znači da kod tih tokova postoje egzogeni faktori koji utječu na njihov oblik, dok to isto ne možemo utvrditi za sliv **Perna** kojemu je indeks konkavnosti 63,82% što upućuje na zreli stadij razvoja reljefa. Ovi rezultati nisu dovoljni za



preciznu analizu i definiranje razloga pojava točaka prijemnica te su se isti pokušali utvrditi drugom metodom.

Drugi postupak, obuhvatio je korištenje *Google Earth* aplikacije pomoću koje su definirani topografski profili odnosno morfometrijski parametri i anomalne lokacije. Postupak je obuhvatio izdvajanje glavnog toka rijeke/potoka pomoću *ArcMap* aplikacije koji se zatim analizirao pomoću *Google Earth* aplikacije. Postupak je podrazumijevao pretvaranje *shapefile* datoteke iz *ArcMap*-a pomoću *Conversion Toola* u KML datoteku. Nakon što je taj postupak izveden, u samoj aplikaciji je navedena datoteka učitana te je izrađen topografski profil za rijeku Glinu (slika 4-31).

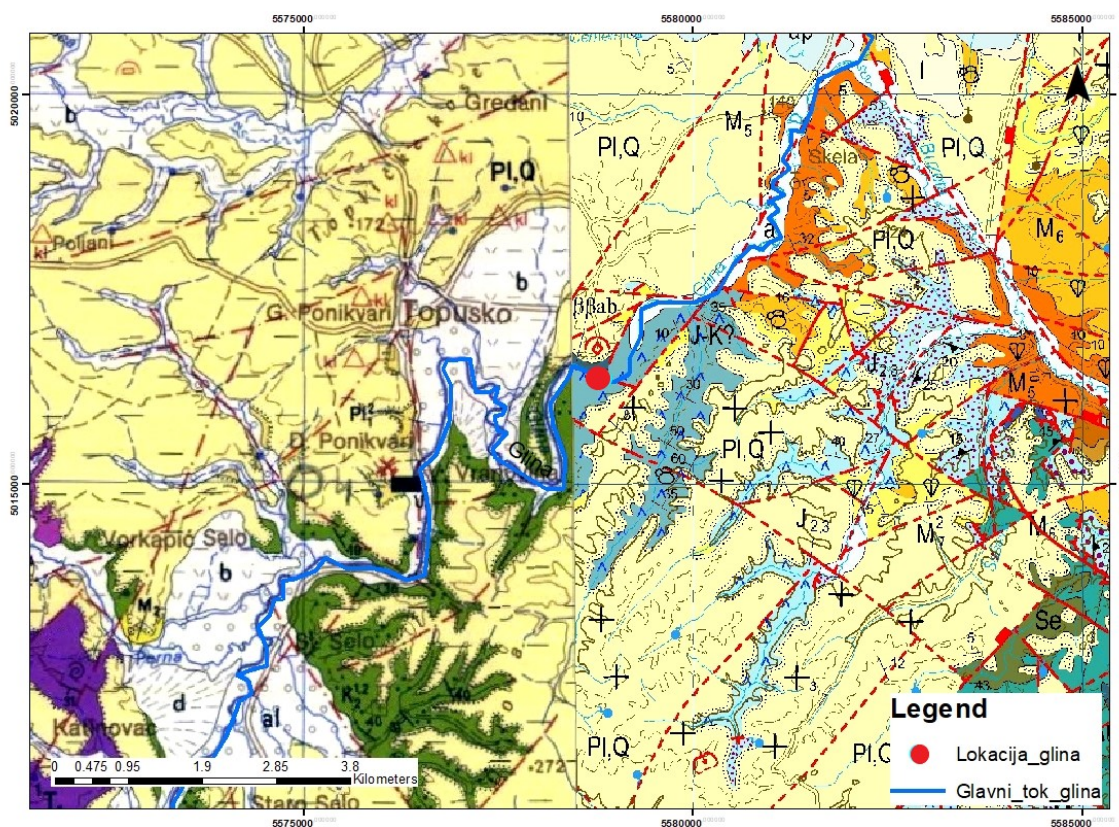


Slika 4-31. Topografski profil za rijeku Glinu izdvojen u Google Earth-u

Na temelju topografskog profila, u narednom koraku su izdvojene potencijalne anomalne lokacije te je usporedbom sa geološkim kartama list *Slunj* (Korolija et al., 1968) i list *Bosanski Novi* (Šikić et al. 1990) zaključeno kako se jedna izdvojena mikrolokacija odnosno točka prijelomnica nalazi na području potencijalnog rasjeda, što može upućivati na potencijalno

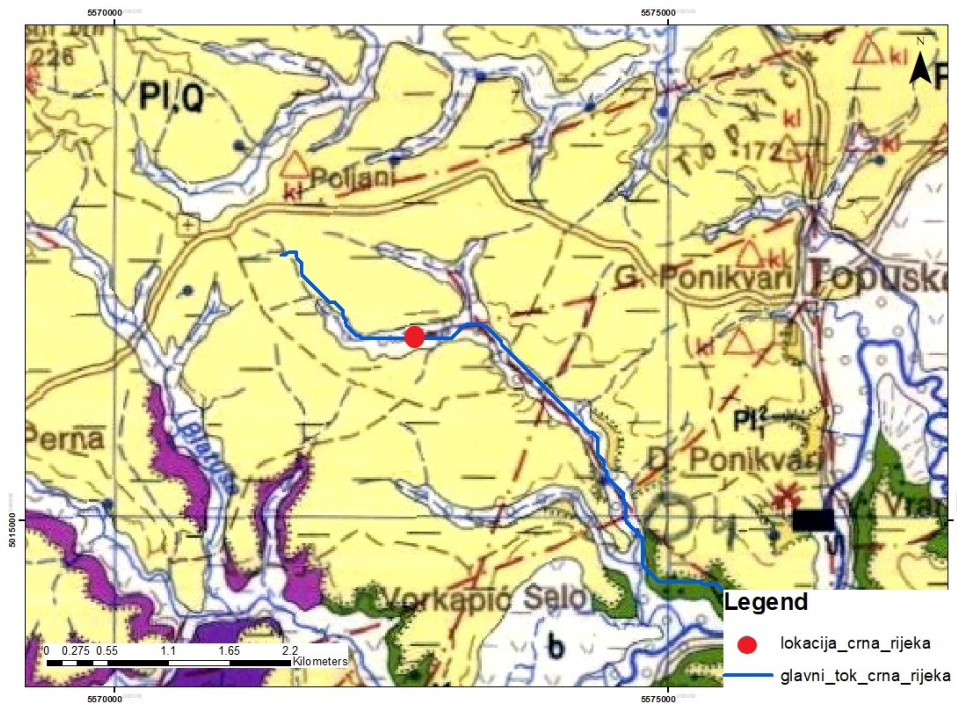


razlomljene i tektonizirane stijene. Lokacija je izdvojena i prikazana na Slici 4-32 te je bila obuhvaćena daljnjim istraživanjima, odnosno terenskim radom.

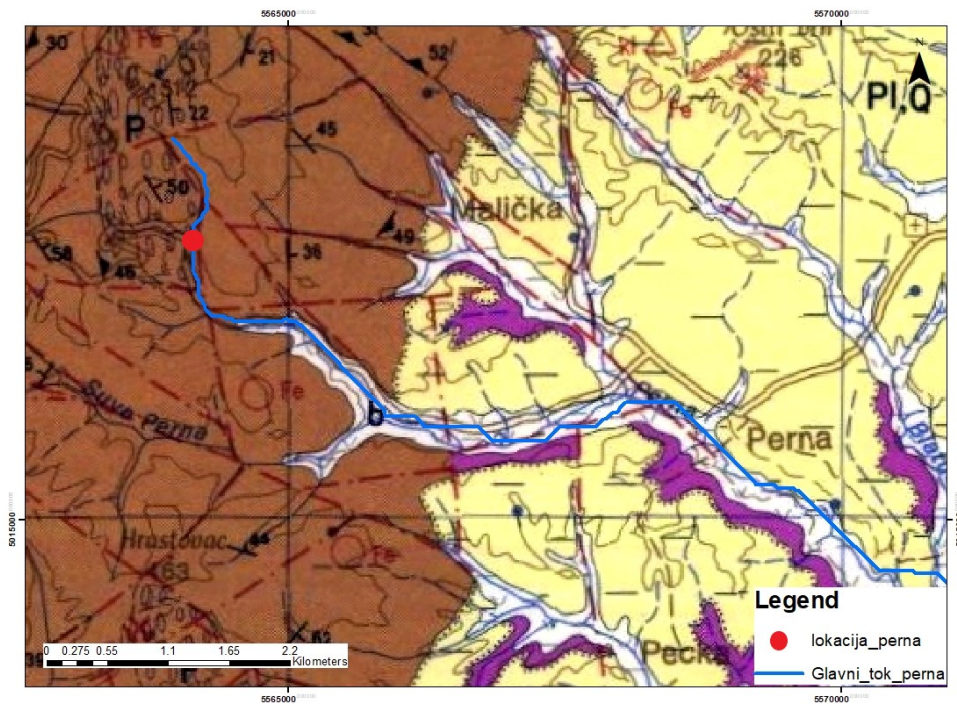


Slika 4-32. Lokacija točke prijelomnice za rijeku Glinu

Nadalje, isti postupak pomoću podataka iz *Google Eartha* je ponovljen i za prethodno izdvojena tri sliva rijeke Gline, odnosno potoke Rijeka, Crna Rijeka i Perna te su izdvojene lokacije potencijalne aktivne tektonike koje su prikazane na Slikama 4-33, 4-34, i 4-35. Iz priloženih slika uočava se da se sve tri izdvojene mikrolokacije nalaze na područjima kojima prolaze pretpostavljeni rasjedi te je to pokazatelj vjerojatnog utjecaja i) dominantno tektonskih procesa na izdvojenim mikrolokacijama, ili ii) izmjene litologije duž tokova slivova Rijeke i Crne Rijeke.

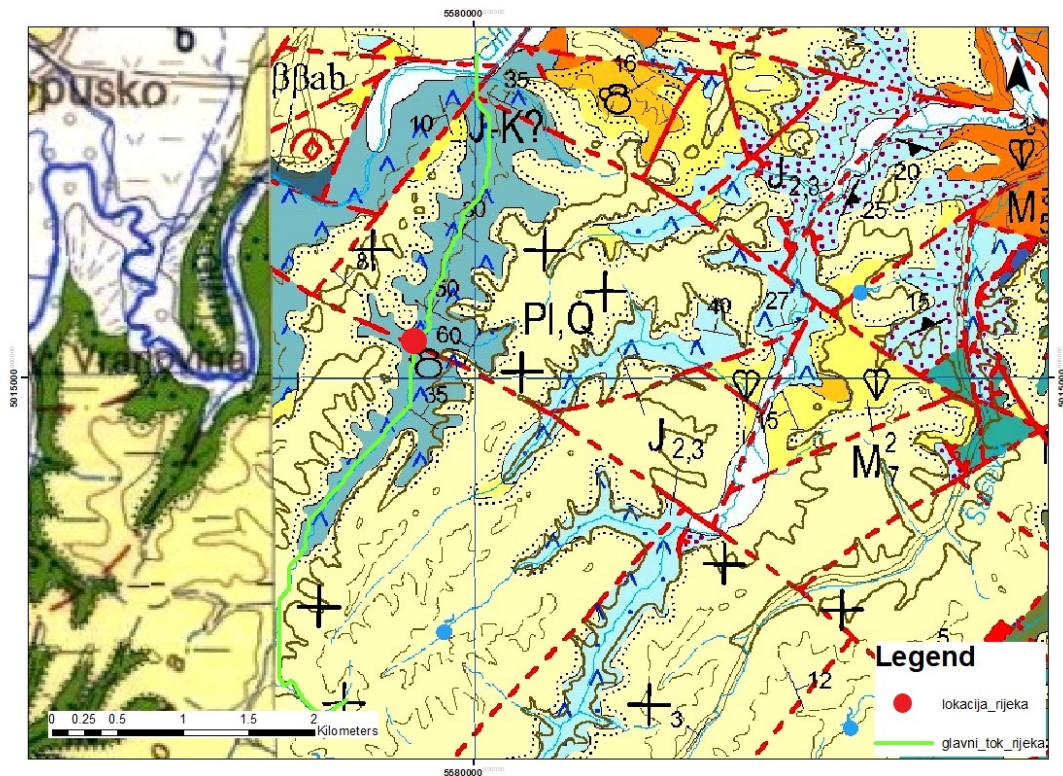


Slika 4-33. Lokacija anomalne točke za sliv Crna Rijeka



Slika 4-34. Lokacija anomalne točke za sliv Perna

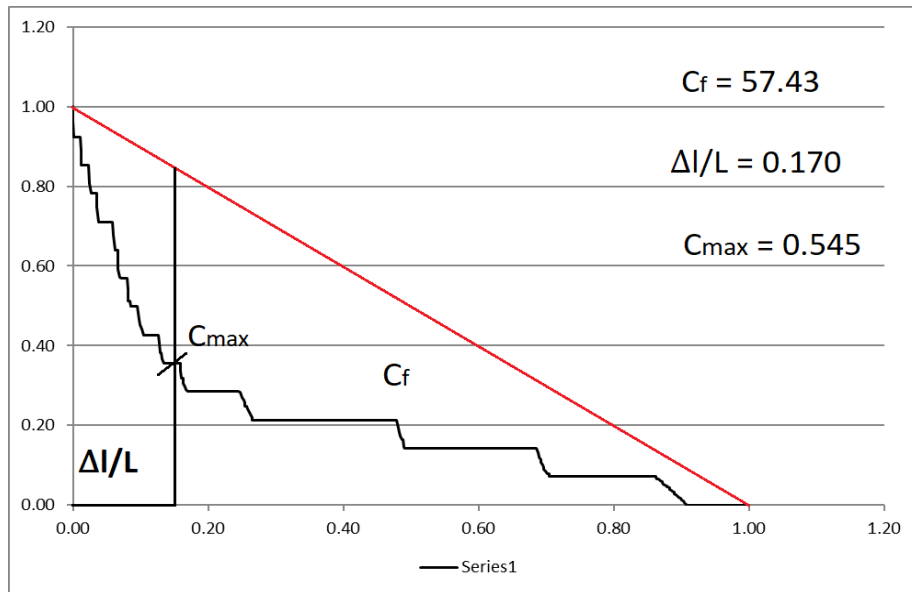




Slika 4-35. Lokacija anomalne točke za sliv Rijeka

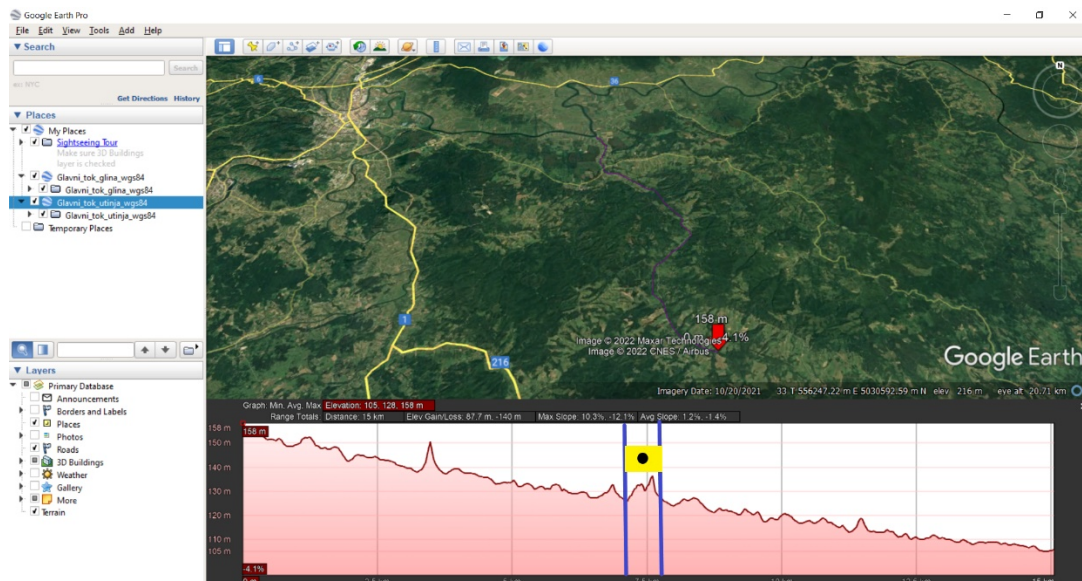
- *Rijeka Utinja*

Morfometrijski postupak je u narednom koraku ponovljen za rijeku Utinju. Izrađeni su normalizirani longitudinalni profili kao što je prikazano u gornjim primjerima te je tom metodom dobiven profil prikazan na Slici 4-36. Iz rezultata prikazanih na slici može se očitati da je maksimalna erozija kod rijeke Utinje 0.545, a erodirani dio iznosi 57,43%. Na žalost, niti u ovom slučaju podaci nisu bili dovoljno dobri za određivanje anomalnih mikrolokacija pa se i u ovom slučaju pristupilo korištenju drugih metoda, odnosno korištenju *Google Earth* aplikacije.



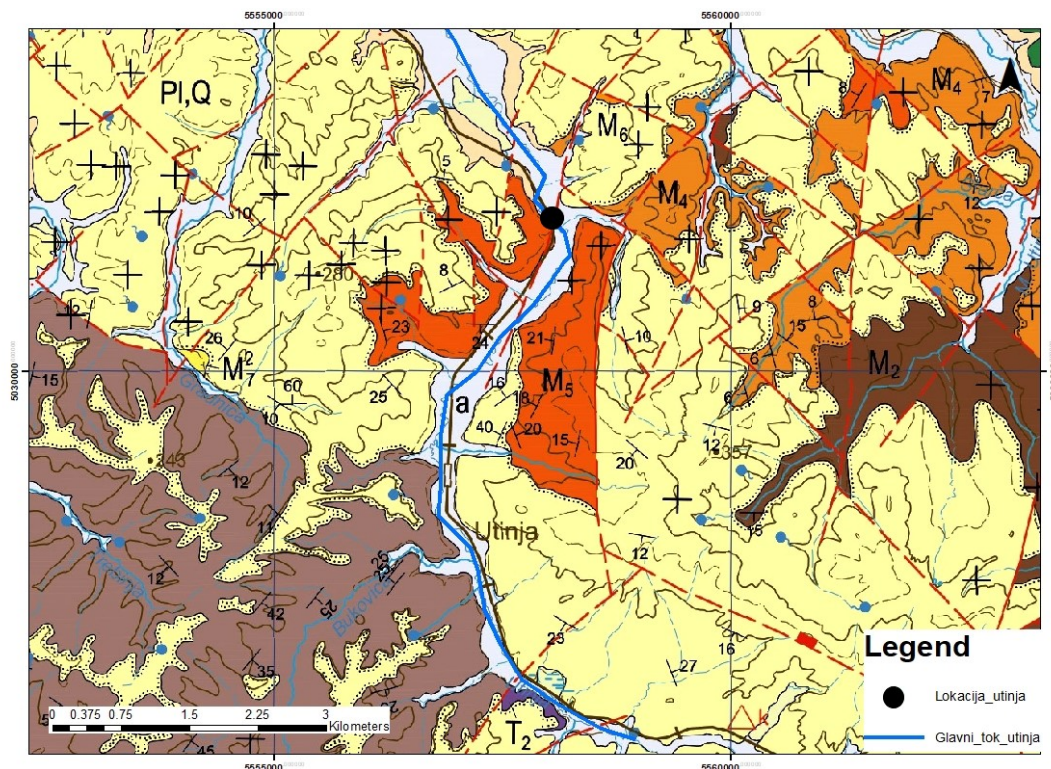
Slika 4-36. Normalizirani longitudinalni profil za rijeku Utinju

Korištenjem *Google Earth* aplikacije izrađen je topografski profil i na temelju analize samoga profila i njegove usporedbe sa geološkom kartom list Karlovac (Benček et al., 1990) određena je jedna potencijalna točka prijelomnica koja je ujedno prikazana na Slici 4-37.



Slika 4-37. Topografski profil rijeke Utinje deriviran pomoću Google Eartha

Anomalna mikrolokacija je prikazana i na geološkoj karti, odnosno prikazana je na Slici 4-38.



Slika 4-38. Lokacija anomalne točke ra rijeku Utinju

Analizom dobivenog longitudinalnog profila te usporedbom sa gore navedenom geološkom kartom uočeno je da na području određene mikrolokacije prolazi pretpostavljeni rasjed te to naravno može biti jedan od razloga pojavljivanja točke prijelomnice na profilu. Isto tako, ovo je područje gdje imamo lokalne promjene stijenske podloge, što može biti razlog takvoga rezultata. Zbog svega navedenog izdvojena mikrolokacija je bila istražena terenskim radom kako bi se dobili točni razlozi pojavljivanja točke prijelomnice i potencijalno utvrdio utjecaj recentne tektonike duž profila rijeke Utinje.

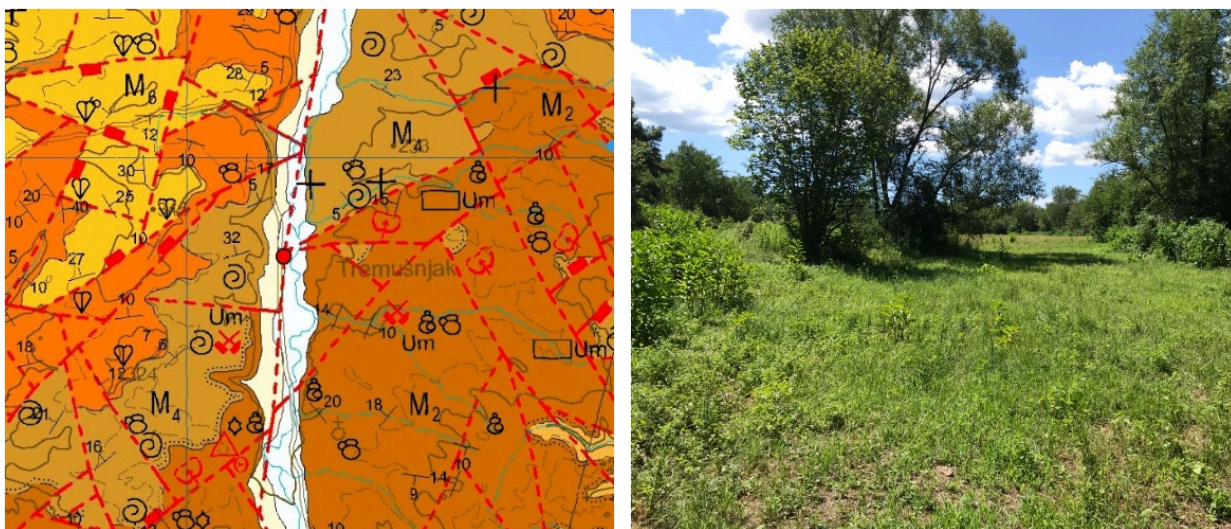


## 4.6. Terenska istraživanja

Terenska istraživanja su provedena 12.7.2022. godine. Terenska istraživanja obuhvatila su obilazak pet morfometrijski anomalnih izdvojenih lokacija, duž glavnih tokova rijeka Petrinjčice i Gline. Rezultati terenskih istraživanja prikazani su u narednim podpoglavljima.

- Točka 1 – rijeka Petrinjčica

Prva točka prijelomnica nalazi se u blizini ušća potoka Tremuščaka u rijeku Petrinjčicu (slika 4-39).



Slika 4-39. Lokacija točke prijelomnice za rijeku Petrinjčicu (Lokacija,  $\varphi$ - 45.30793512,  $\lambda$ - 16.286922609114)

Terenskom prospekcijom uočeno je da izdvojena točka prijelomnica zapravo predstavlja mikrolokaciju naplavne ravnice koja je nastala donosom materijala potokom Tremuščakom. U vrijeme povećanog donosa materijala potok Tremušćak je vjerojatno, smanjio brzinu toka rijeke Petrinjčice, pa je time vjerojatno došlo do povećanog taloženja materijala na ovome području. Uvidom u geološku kartu list Bosanski Novi (Šikić et al., 1990) uočava se da se na području pojave točke prijelomnice radi o naslagama srednjeg miocena (otnang) koji se sastoji od šljunaka (erodirane starije valutice pješčenjaka, kvarca te magmatita; Slika 4-40), pijesaka, glina i lapora



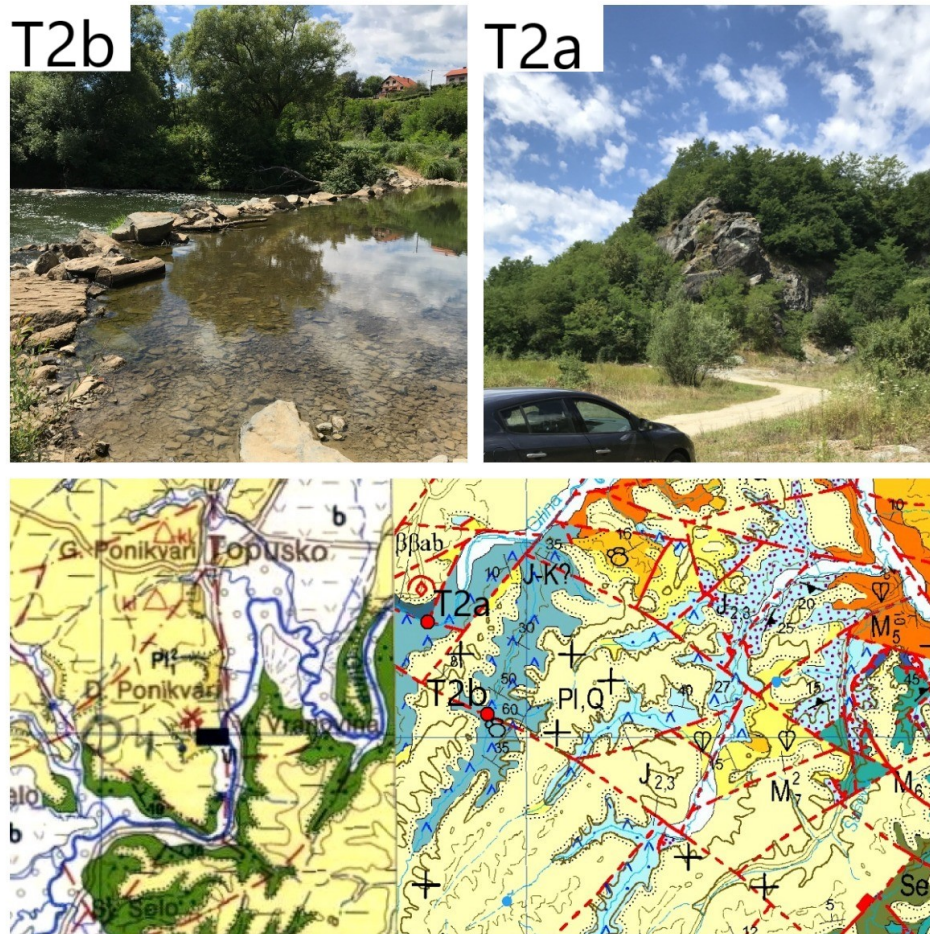
Slika 4-40. Valutice pješčenjaka, kvarca i magmatita pronađene na terenu na lokaciji  $\varphi$ - 45.30793512,  
 $\lambda$ -16.286922609114

Nakon analize svih ranije korištenih metoda te koristeći rezultate terenskih istraživanja možemo zaključiti da se pojava ove točke prijelomnice na longitudinalnom profilu ne može povezati sa tektonskim procesima, već povećanog donosa materijala potokom Tremušćakom.



- Točka 2 – rijeka Glina (Topusko)

Druga točka prijelomnica vezana uz rijeku Glinu analizirana je na području Topuskog. U izdvojenom području, pojavile su se dvije točke prijelomnice jedna uočena na longitudinalnom profilu rijeke Gline, a druga na profilu potoka Rijeka (Slika 4-41).



Slika 4-41. Dvije točke prijelomnice kod rijeka Gline (lokacija,  $\varphi$ - 45.2886948315848,  $\lambda$ - 15.9979474079013)

Na području javljanja točki prijelomnica T2a i T2b uočavamo jako meandriranje rijeke Gline koje je uzrokovano litološkim razlikama, odnosno distribuciji rezistentnijih/manje rezistentnih stijena u podlozi kojima se rijeka prilagođava. Kod prve točke (T2a) radi se zapravo o stijenama ofiolitnog melanža, odnosno dijabaza u odnosu na druge tipove stijena (Slika 4-42) koji su dio ofiolitnog melanža nastalog za vrijeme mlađe jure/starije krede, kao rezultat obdukcije ofiolita.





Slika 4-42. Izdanci dijabaza koji su sastavni dio ofiolitnog melanža (lokacija,  $\varphi$ - 45.2886948315848,  $\lambda$ - 15.9979474079013)



Slika 4-43. Izdanci dijabaza na lokalitetu uz rijeku Glinu ( $\varphi$ - 45.2886948315848,  $\lambda$ - 15.9979474079013)

Morfološki, tok rijeke Gline sjeverozapadno i jugoistočno od pojave točki prijelomnica poprilično je ravan sa malim meandrima, jedino u ovome segmentu se pojavljuju meandri velikih amplituda koji jasno ukazuju na prostornu distribuciju rezistentnih dijabaza unutar ofiolitnog melanža.

Osim dijabaznog tijela pojava druge točke prijelomnice (T2b) je vezana uz umjetnu antropogenu formu, odnosno nasip (Slika 4-44) koji se na longitudinalnom profilu može pokazati kao točka prijelomnica, no terenskim istraživanjem je dokazano da je razlog pojavljivanja te točke antropogeni utjecaj.



Slika 4-44. Antropogena struktura nasipa na rijeci Glini u blizini Topuskoga koja je uzrok pojave točke prijelomnice na profilu ( $\varphi$ - 45.2886948315848,  $\lambda$ - 15.9979474079013)

- Toka 3 - Crna Rijeka

Toča prijelomnica kod potoka Crna Rijeka se javila na litološki uniformnom području pliokvartara (Slika 4-45)





Slika 4-45. Lokacija pojave točke prijelomnice za sliv Crna Rijeka (lokacija,  $\varphi$ -45.2908342704599,  $\lambda$ -15.929864309743)

Interpretacija terenskih opažanja ukazuje na činjenicu da se dio toka gdje se pojavila točka prijelomnica nalazi pod utjecajem bujičnjaka u odnosu na preostali nizvodni dio tok koji je stalan, odnosno to je kritična točka gdje potok prelazi iz povremenog u stalni. Na tom području utjecaj erozije u vodenom stupcu nije stalan već se tu odvijaju koluvijalni gravitacijski bujični procesi. S obzirom da se radi o pliokvartaru tu je utjecaj erozije velik te je to razlog pojavljivanja ove točke prijelomnice.

Na terenu su pronađeni lapori bijele i žutosmeđe boje te je zaključak da razlog pojave ove točke prijelomnice nije tektonika niti litologija, već različiti hidrodinamski procesi.



- Točka 4 – Perna

Točka prijelomnica za sliv potoka Perna je razmatrana na području prijelaza konglomerata u pješčenjake (Slika 4-46).



Slika 4-46. Lokacija pojave točke prijelomnice za potok Perna (lokacija,  $\varphi$ - 45.2980036222372,  $\lambda$ - 15.8126419124322)

Dakle, kao što se može uočiti na geološkoj karti razlog pojave točke prijelomnice je litologija, odnosno već ranije spomenuti prijelaz iz konglomerata u pješčenjake. To je dokazano terenskim istraživanjem gdje je uočena morfološka stepenica (Slika 4-47) koja je uzrokovana promjenom u litologiji.





Slika 4-47. Morfološka stepenica uočena na prijelazu konglomerata u pješčenjake (lokacija,  $\varphi$ -45.2980036222372,  $\lambda$ - 15.8126419124322)

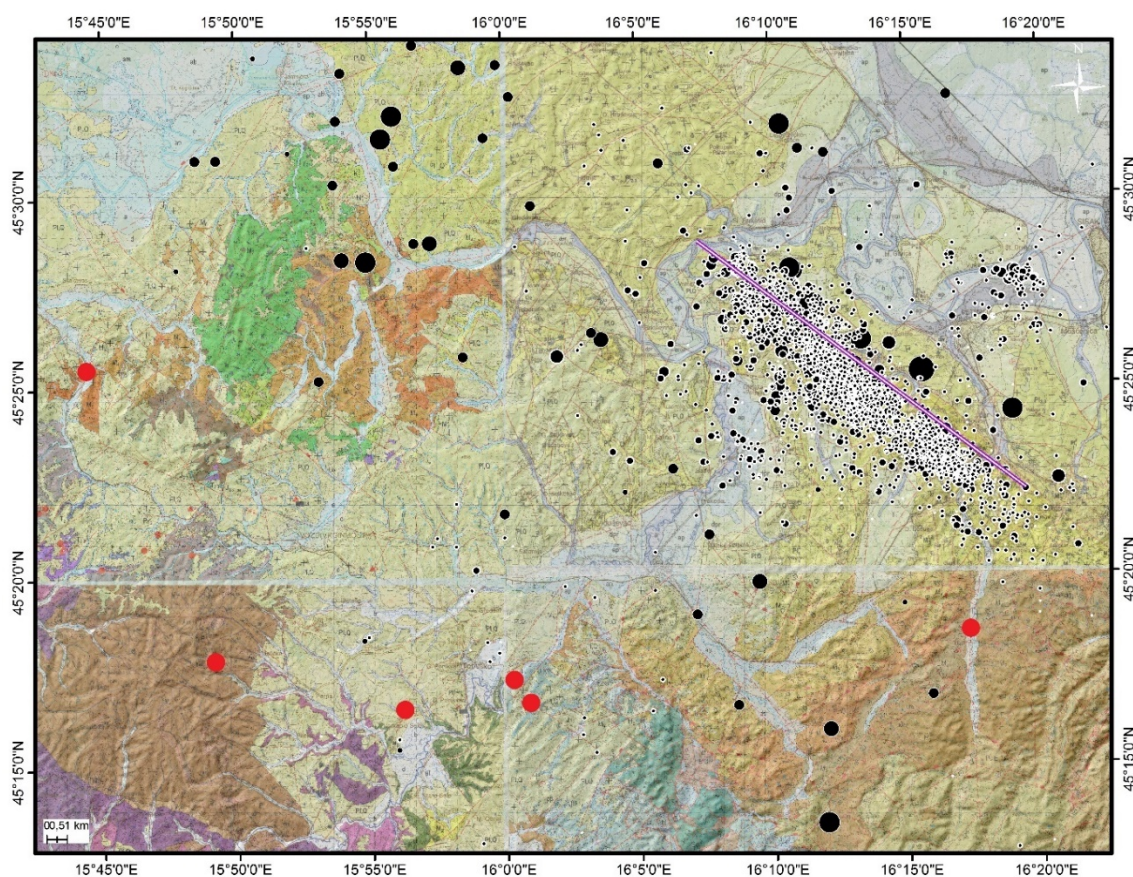


Slika 4-48. Konglomerat pronađen na terenu na mikrolokaciji određenoj za sliv Perna ( $\varphi$ -45.2980036222372,  $\lambda$ - 15.8126419124322)



## 5. Diskusija i zaključak –usporedba dobivenih rezultata s seizmičnošću područja Banije

Istraživano područje Banije je u 2020. godini bilo pogođeno snažnim potresom s epicentrom u blizini Petrinje, a koji je uzrokovan desnim rasjedom pružanja SZ-JI, dužine preko 20 km (Baise et al., 2022). Taj potres je ujedno i motivacija pisanja ovoga rada te je u skladu s tim napravljena usporedba potresa na Baniji i rezultata dobivenih u ovom radu, odnosno prikazan je odnos dobivenih potencijalnih anomalnih točaka i lokacija potresa na području (Slika 5-1).



Slika 5-1. Usporedba lokacija potresa na Baniji s anomalnim lokacijama dobivenim u ovom radu (prikazane crvenim točkicama) (<https://earthquake.usgs.gov/>)

Na samoj slici se može uočiti da nema značajnijeg podudaranja izdvojenih točki prijelomnica sa lokacijama potresa, no isto tako uočavamo da se anomalna lokacija kod rijeke Petrinjčice nalazi u razlomljenoj zoni jugoistočno u odnosu na gustu potresnu seriju kod Petrinje. Za ostale



lokacije se može zaključiti da se anomalne lokacije kod rijeka Utinje i Perne ne nalaze u blizini zabilježenih potresa, dok se mikrolokacije izdvojene za Glinu, Pernu i Crnu Rijeku nalaze u blizini slabijih potresa u južnom dijelu istraživanog područja te na jugozapadnim obroncima Zrinske gore. Također, bitno je izdvojiti gusti klaster potresa kod Petrinje koji odgovara pružanju Hrastovičke Gore (SZ-II), koji je izdvojen u ovom radu pomoću nagiba padina, relativnog reljefa i relativnih nagiba kao područje potencijalne aktivne tektonike na ovom području.

Na temelju provedenih istraživanja i podataka iz literature dolazimo do zaključka kako točke prijelomnice koje su se pojavile na profilima nisu izravno povezane s recentnom tektonikom te se ne može indicirati njihova povezanost s nedavnim potresima na Baniji. Naime, koristeći programsku tehnologiju analizirani su svi izdvojeni slivovi te su na taj način dobiveni rezultati koji ukazuju na mogućnost pojave recentne tektonike na izdvojenim lokacijama. Terenskim radom, izdvojene potencijalne lokacije ukazuju na veliki donos materijala potokom Tremušćakom u slučaju pojave točke prijelomnice kod rijeke Petrinjčice, što je dovelo do stvaranja naplavne ravnice. Kod rijeke Gline i sliva Rijeka izdvojene prijelomnice svjedoče o različitim litološkim uzrocima, odnosno pojavi dijabaznog tijela u odnosu na ostale stijene ofiolitnog menlanža. Za potok Crna Rijeka je terenskim radom utvrđena pojava bujičnog toka na mjestu pojave točke prijelomnice te se to očituje kao razlog njezine pojave, dok je za sliv potoka Perna utvrđena promjena u litologiji na tome području, odnosno prijelaz iz konglomerata u pješčenjake. Svi gore navedeni razlozi i rezultati nam ukazuju kako je geomorfometrija višedimenzionalna grana geologije, odnosno nemoguće je na temelju jedne metode dobiti kvalitetne i točne rezultate, već ona iziskuje kombinaciju svih dostupnih metoda kako bi se došlo do željenih rezultata. Bitno je naglasiti kako ovi zaključci i rezultati nisu egzaktni i jednodimenzionalni, već naprotiv postoji dosta prostora za njihovo proširenje i povećanje točnosti analize odabranih tokova.

## 6. Literatura

BAIZE, S., AMOROSO, S., BELIĆ, N., BENEDETTI, L., BONCIO, P., BUDIĆ, M., ... & RICCI, T. (2022). Environmental effects and seismogenic source characterization of the December 2020 earthquake sequence near Petrinja, Croatia. *Geophysical Journal International*, 230(2), 1394-1418.

BALASUBRAMANIAN, A. (2017). Digital elevation model (DEM) in GIS. University of Mysore.

BENČEK, J., BUKOVAC, J., MAGAŠ, N., ŠIMUNIĆ, A. & MARINČIĆ, S. (1990): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Karlovac, L 33-92. Institut za geološka istraživanja Zagreb.

BÍL, M. (2002): The usage of the geomorphometrical techniques for the neotectonics studies. MS, PhD thesis. UJEP Brno.

DEMOULIN, A., (1998): Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles: the case of the Ardenne (Belgium, NW Europe). *Geomorphology* 24, 189–208.

ESCOBAR, F., HUNTER, G., BISHOP, I., & ZERGER, A. (2008). Introduction to GIS. Department of Geomatics, The University of Melbourne, Available online at: <http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/> (Accessed 02 April 2008).

HARTVICH, F. (2005): Analysis of the longitudinal profiles of selected rivers in the Šumava Mts., Southwest Bohemia. *Miscellanea geographica* 11, Contributions from geomorphological seminary Šumava '05.

KELLER, E.A. & PINTER, N. (2002): Active Tectonics. Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall, New Jersey, 362 str.

KOROLIJA, B., ŽIVALJEVIĆ, T., ŠIMUNIĆ, A. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Slunj, L 33-104. Institut za geološka istraživanja Zagreb.

KOROLIJA, B., ŽIVALJEVIĆ, T., ŠIMUNIĆ, A. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000. Tumač za list Slunj, L 33-104. Institut za geološka istraživanja Zagreb.

- LACKOVIĆ, P. (2020): Primjena GIS-a u prostornom planiranju-određivanje optimalne lokacije novih studentskih domova u Gradu Zagrebu (Doctoral dissertation, University of Zagreb. Faculty of Science. Department of Geography).
- LOZIĆ, S. (1996): Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske. *Acta Geographica Croatica*, 31(1.), 41-49.
- MAGAŠ, N., BENČEK, J., BUKOVAC, J. (1990): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000. Tumač za list Karlovac, L 33-92. Institut za geološka istraživanja Zagreb.
- MATOŠ, B. (2014). Identification of tectonically active areas using DEM: a quantitative morphometric analysis of Mt. Medvednica, NW Croatia. *Geological quarterly*, 58(1), 51-70.
- MOLIN, P., PAZZAGLIA, F.J., DRAMIS, F., 2004. Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly deforming forearc, Sila Massif, Calabria, Southern Italy. *American Journal of Science* 304, 559–589.
- OHMORI, H., (1993): Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. *Geomorphology* 8, 263–277.
- PÉREZ-PEÑA, J.V., AZANON, J.M., AZOR, A. (2009): CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. *Computers & Geosciences* 35, 1214-1223.
- PIKE, R. J. (1995). Geomorphometry-progress, practice, and prospect. *Zeitschrift für Geomorphologie. Supplementband*, (101), 221-238.
- PIKE, R. J., EVANS, R. J., & HENGL, T. (2008). *Geomorphometry: a brief guide*. Series developments in soil science.
- PIKIJA, M. (1986): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Sisak, L 33-93. Institut za geološka istraživanja Zagreb.
- PIKIJA, M. (1986): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000. Tumač za list Sisak, L 33-93. Institut za geološka istraživanja Zagreb.
- RADOANE, M., RADOANE, N., DUMITRIU, D. (2003): Geomorphological evolution of longitudinal river profiles in the Carpathians. *Geomorphology* 50, 293-306.

RASEMANN, S., SCHMIDT, J., SCROTT, L., & DIKAU, R. (2004). Geomorphometry in mountain terrain. *GIS & Mountain Geomorphology*. Springer, Berlin, 101-145.

RUSZKICZAY-RÜDIGER, Z., FODOR, L., HORVÁTH, E. & TELBISZ, T. (2009): Discrimination of fluvial, eolian and neotectonics features in a low hilly landscape: A DEM-based morphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary. *Geomorphology* 104, 203-217.

SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K., 2008. The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci.*, 101, str. 139–183.

STRAHLER, A.N., (1952): Hypsometric (area–altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117–1142.

ŠIKIĆ, K. & ŠIMUNIĆ, A. (1990): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Bosanski Novi, L 33-105. Institut za geološka istraživanja Zagreb.

ŠIKIĆ, K., (1990): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000. Tumač za list Bosanski Novi, L 33-105. Institut za geološka istraživanja Zagreb.

USTASZEWSKI, K., KOUNOV, A., SCHMID, S. M., SCHALTEGGER, U., KRENN, E., FRANK, W., & FÜGENSCHUH, B. (2010). Evolution of the Adria-Europe plate boundary in the northern Dinarides: From continent-continent collision to back-arc extension. *Tectonics*, 29(6).

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEĆ, D., 2005. Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Paleogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220(3), str. 333-360.

ZHANG, J., LI, Q., GONG, H., LI, X., SONG, L., & HUANG, J. (2010, March). Hydrologic information extraction based on arc hydro tool and DEM. In 2010 International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering (Vol. 1, pp. 503-506). IEEE.

Web izvori:

<https://www.copernicus.eu/en/project>; srpanj 2021.

<https://www.gisoutlook.com/2020/04/raster-data-formats-in-gis.html>; srpanj 2021.

<https://petrinjaturizam.hr>; srpanj 2021.