

# Uporaba daljinskih istraživanja radi utvrđivanja tektonske aktivnosti na širem području Kvarnera

---

**Krajnović, Mateo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:222249>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**Mateo Krajnović**

**Uporaba daljinskih istraživanja radi utvrđivanja tektonske  
aktivnosti na širem području Kvarnera**

**Diplomski rad**

**Zagreb**

**2019.**

**Mateo Krajnović**

**Uporaba daljinskih istraživanja radi utvrđivanja tektonske  
aktivnosti na širem području Kvarnera**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geološkom odsjeku

Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

radi stjecanja akademskog zvanja

magistra geologije

**Zagreb**

**2019.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija Geologija: smjer: Geologija zaštite okoliša na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Hane Fajković i doc. dr.sc. Borne Lužar-Oberitera. Diplomski rad je izrađen u okviru projekta GEOSEKVA:HRZZ Istraživački projekt: IP-06-2016-1854 pod nadzorom dipl. ing. Pavle Ferića.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

Diplomski rad

### UPORABA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA RADI UTVRĐIVANJA TEKTONSKE AKTIVNOSTI NA ŠIREM PODRUČJU KVARNERA

Mateo Krajnović

Rad je izrađen na Geološkom odsjeku, Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb.

**Sažetak:** Ovaj diplomski rad se temelji na uporabi daljinskih istraživanja radi utvrđivanja tektonske aktivnosti na širem području Kvarnera. Proces se sastoji od tri dijela. Prvi dio je prikupljanje podataka, od kojih se dio prikuplja iz otvorenih izvora dok se dio generira uporabom raznih računalnih programa. Drugi dio se sastoji od izračuna raznih geomorfometrijskih indeksa na razini slivnih područja, te izračuna indeksa neotektonske aktivnosti koji je na lokalnoj razini. U završnom dijelu rada je analiza rezultata te je provedena usporedba sa prethodnim istraživanjima na ovom području. Rezultati su pokazali kako je uporaba indeksa neotektonske aktivnosti kao i ostali geomorfoloških indeksa korisna u razumijevanju regionalne tektonike područja.

**Ključne riječi:** kvarner, neotektonika, GIS

**Rad sadrži:** 86 stranica, 25 grafičkih priloga, 5 tablica, 6 dodataka, 94 bibliografske reference

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

**Mentori:** doc.dr.sc. Hana Fajković,

doc.dr.sc Borna Lužar-Oberiter

**Ocjenjivači :** doc.dr.sc. Hana Fajković,

doc.dr.sc Borna Lužar-Oberiter,

doc.dr.sc. Kristina Pikelj

**Rad prihvaćen:** 11.1.2019

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Geology

Master Thesis

### USING REMOTE SENSING TO DETERMINE TECTONIC ACTIVITY IN THE WIDER KVARNER REGION

Mateo Krajnović

Thesis completed at the Department of Geology, Faculty of Science, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

**Abstract:** This master thesis is based on using remote sensing to determine tectonic activity in the wider Kvarner region. The process consists of three parts. The first part is data collection, where a part of the data is gathered from open sources while the other part is generated with the usage of different software. The second part consists of the calculation of different types of geomorphometric indices of the drainage basins and the calculation of the index of neotectonic activity which is on a local scale. The final part consists of the analysis of the results and a comparison to other research at this area. The results have shown that the index of neotectonic activity and the other geomorphologic indices are of use in understanding the regional tectonics in the studied area

**Keywords:** kvarner, neotectonics, GIS

**Thesis contains :** 86 pages, 25 figures, 5 tables, 6 appendices, 94 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central geological Library, Department of Geology, Faculty of Science, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

**Supervisor:** doc.dr.sc. Hana Fajković

doc.dr.sc. Borna Lužar-Oberiter

**Reviewers:** doc.dr.sc. Hana Fajković,

doc.dr.sc. Borna Lužar-Oberiter,

doc.dr.sc. Kristina Pikelj

**Thesis accepted :** 11.1.2019

# Sadržaj

1. Uvod .....	1
1.1 Neotektonika .....	2
1.2 Cilj istraživanja.....	3
2. Geologija područja istraživanja.....	4
3. Materijali i metode .....	7
3.1. Priprema podataka.....	7
3.2 Slivna područja i vodotoci.....	10
3.3 Lineamenti.....	15
4. Metode istraživanja .....	18
4.1 Analiza slivnih područja.....	18
4.2 Morfološke karakteristike slivnih područja.....	21
4.3 Analiza tektonske aktivnosti na lokalnoj razini.....	27
4.4 Indeks neotektonske aktivnosti.....	29
5. Rezultati .....	32
5.1 Morfološke karakteristike slivnih područja.....	32
5.1.1 Geomorfološki indeksi asocirani sa reljefnom strukturom slivnih područja.....	33
5.1.2 Morfološki indeksi asocirani sa karakteristikama drenažne mreže .....	33
5.1.3 Geomorfološki indeksi asocirani sa aspektima slivnih područja prema obliku i regionalnom nagibu .....	34
5.1.4 Analiza rezultata lineamenata.....	37
5.2 Analiza na lokalnoj razini.....	38
6. Diskusija.....	42
7. Zaključak .....	45
8. Literatura .....	46
Popis grafičkih priloga .....	53
Prikaz tablica.....	54
Dodaci .....	55
Dodatak I. Prikaz broja vodotoka po redu u slivnim područjima.....	55
Dodatak II. Prikaz međuodnosa morfometrijskih indeksa .....	58
Dodatak III: Prikazi hipsometrijskih krivulja po slivnim područjima.....	63
Dodatak IV. Prikaz rozetinih dijagrama lineamenata po slivnim područjima.....	70
Dodatak V. Kartografski prikazi rezultata analize slivnih područja.....	74
Dodatak VI. Prikaz faktorskih karata korištenih za izradu indeksa neotektonske aktivnosti.....	80

# 1. Uvod

Daljinsko istraživanje je metoda prikupljanja informacija o nekom objektu ili fenomenu pomoću uređaja za snimanje ili istraživanje u realnom vremenu koji je bežičan ili nije u fizičkom ili bliskom kontaktu s objektom pomoću zrakoplova, svemirske letjelice, satelita ili broda. U modernoj uporabi termin se odnosi na uporabu tehnologija vizualizacijskih senzora koji uključuju, ali nisu ograničeni uporabom instrumenata u zrakoplovima ili svemirskim letjelicama (Campbell, J.B 2002).

Moderna disciplina daljinskih istraživanja je doživjela procvat sa počecima zrakoplovstva. G.Tournachon je 1858. izradio fotografije Pariza iz balona. Među sredstvima u uporabi u to vrijeme su bili golubovi, rakete i besposadni baloni. Sustavne aerosnimke su se razvile u svrhu vojnog nadzora i izviđanja počevši u Prvom svjetskom ratu uporabom modificiranih letjelica. Kasniji razvitak satelita u drugoj polovici 20. stoljeća je unaprijedio daljinska istraživanja na globalnu skalu krajem Hladnog rata. Pojavili su se razni tipovi satelita poput Landsata i Nimbusa koji su pružali globalna mjerenja raznih podataka u civilne, vojne i istraživačke svrhe. Daljnji razvoj je započeo procesuiranjem i poboljšanjima satelitskih snimaka do čega je dovela uporaba Fourierovih transformacija. Prvi komercijalni satelit koji prikuplja snimke visoke rezolucije IKONOS je lansiran 1999. Daljinska istraživanja se danas koriste u više znanstvenih disciplina (hidrologija, ekologija, meteorologija, oceanografija, glaciologija i geologija) te u vojne, obavještajne, komercijalne, ekonomske i humanitarne svrhe. Njihova uporaba je uvelike unaprijedila protupožarno djelovanje gdje se koriste u preventivne svrhe i predviđanju širenja požara te su u širokoj uporabi i u preventivnom djelovanju protiv ostalih tipova prirodnih katastrofa (tsunamiji, poplave, zagađenja) te u sanaciji nastalih šteta. Prednosti daljinskih istraživanja u geologiji su ušteda novčanih i vremenskih resursa koje bi trebalo posvetiti istraživanju. Ona nam omogućuju prikupljanje podataka o terenu prije samog fizičkog izlaska na teren i ti prikupljeni podaci mogu biti ključni u planiranju i izvedbi terenskih istraživanja koja su neophodna. Daljinska istraživanja su danas u uporabi u istraživanju kemijskih i fizičkih svojstava terena, te se koriste u raznim tipovima geoloških istraživanja, od eksploatacije minerala i nafte do istraživanja podzemnih voda. Sa daljinskim istraživanjima se najčešće koriste i GIS sustavi, koji služe za prikupljanje, upravljanje i analizu prikupljenih prostornih podataka i njima pridruženim osobinama.

Ovakva istraživanja su korisna u razne svrhe, te uporaba GIS sustava i daljinskih istraživanja bi u budućnosti trebala izrazito napredovati uporabom strojnog učenja i umjetne inteligencije



## 1.1 Neotektonika

U posljednjem desetljeću su prirodne katastrofe prouzročile više od 780 000 smrti i 960 milijardi dolara u ekonomskim gubicima. Potresi sačinjavaju 60% tih prirodnih katastrofa (Bartels i Vanrooyen, 2011)., što pokazuje razorni sociološko-ekonomski utjecaj potresa. Predviđanje potresa nije moguće zbog trenutne nemogućnosti direktnog promatranja izvora i nepostojanje kvantificiranog stanja stresa u zemljinoj kori (Wyss, 2001). Posljednjih godina se tektonske zone intenzivno istražuju sa sofisticiranim instrumentima i tehnikama poput daljinskih istraživanja. Ta istraživanja su skupa ako se koriste GPS mreže i interferometrijski sintetički aparturni radar (inSAR), no radi se o potrebnim istraživanjima koja bi nam pomogla u razumijevanju tektonski aktivnih zona koje mogu biti uzrok potresa i hazarda vezanih za potrese. Osim tektonski aktivnih zona uzroci potresa mogu biti vulkani, urušavanja i eksplozije.

Neotektonika se definira kao tektonski procesi koji prouzročavaju deformaciju Zemljine kore u vremenskom razdoblju značajnom ljudskom društvu (Keller i Pinter, 1996) i recentna deformacija površine uzrokovana tektonskim procesima (Pavlides, 1989; Koster, 2005). Tektonski režim područja se uzima kao regionalno polje stresa, naročito u maksimalnom smjeru stresa (Masana, 1994; Kokkalas i Doutsos, 2001). Tektonski krajolik se može razviti na više načina; frakturiranjem, orogenezom, kompresijom ili ekstenzijom geoloških jedinica, te se na taj način otkrivaju procesi koji kontroliraju razvoj pojedine regije (Thanassoulas, 2005).

Tektonski procesi su jedan od faktora odgovornih za razvoj reljefa te se njihova aktivnost odražava u geomorfologiji područja koja će se ispitati u ovom radu. Faktori poput erozije imaju tendenciju da ublaže taj reljef što otežava procjenu tektonske deformacije. Zbog promjenjive erozije vodotoci su osjetljivi na nagle promjene u geologiji (Hack, 1957). Tektonika također utječe na gradijent rijeka, bilo uzdizanje ili subsidencija (Schumm, 1986; Snyder et.al, 2000) te na stvaranje drenažnih mreža (Humphrey i Konrad, 2000).

Razni tipovi karakteristika vodotoka se mogu asociirati sa aktivnom tektonikom (Summerfield, 1991)

1. Deformacija longitudinalnog profila doline
2. Promjena u gradijentu vodotoka
3. Promjena širine i dubine vodotoka
4. Varijacije u stabilnosti vodotoka

## 1.2 Cilj istraživanja

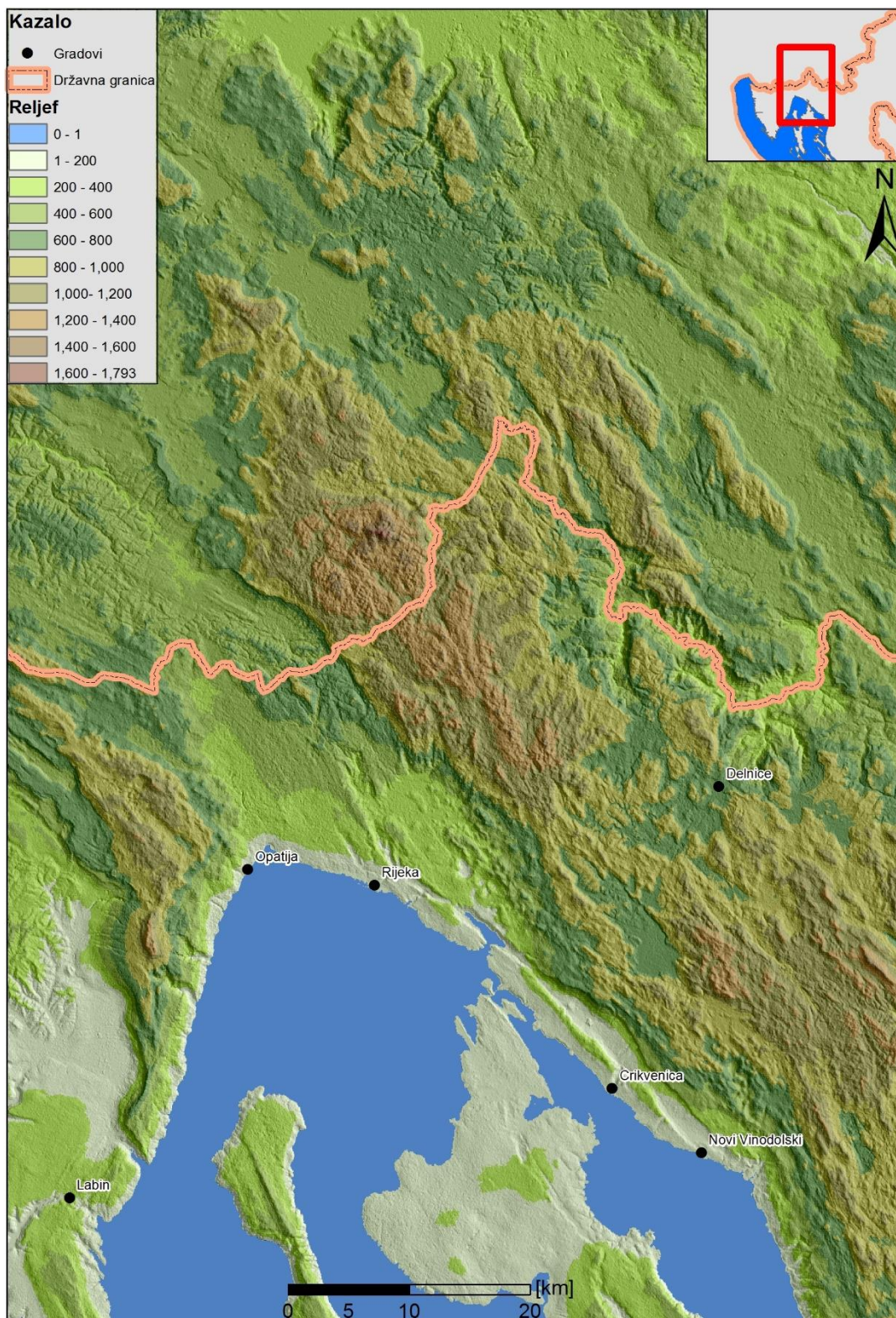
Klasična terenska istraživanja zahtijevaju puno vremena, logistike, organizacije i financijskih sredstava dok daljinska istraživanja, koja ne mogu u potpunosti zamijeniti klasična istraživanja na terenu, mogu olakšati kasniji terenski rad te istraživača ili krajnjeg korisnika bolje pripremiti za rad na terenu kako bi sam rad bio što uspješniji i efikasniji. Također uporabom daljinskih istraživanja se otvara mogućnost prikupljanja raznih setova podataka koji se kasnije mogu koristiti za daljnju analizu područja interesa. U ovom radu se prikazuju mogućnosti dobivanja informacija o hidrografiji i neotektonskoj aktivnosti područja koristeći isključivo daljinska istraživanja uporabom digitalnom modela reljefa (DMR) i podataka o litologiji na širem području Kvarnera. U radu će se napraviti usporedba delineacija hidrografskih podataka uporabom različitih programa. Fokus rada je na neotektonskoj aktivnosti koja se odražava na razvoj slivnih područja i morfologije terena. Cilj rada je izračun raznih geomorfoloških indeksa slivnih područja radi utvrđivanja hidrografskog i tektonskog režima područja te generiranje indeksa neotektonske aktivnosti za šire područje Kvarnera koji bi dao bolji uvid u lokalni tektonski režim područja te usporedba dobivenih rezultata sa prethodnim istraživanjima na ovom području. Navedeni izračuni se temelje na istraživanju i modelu Argyiou (2014).

## 2. Geologija područja istraživanja

Područje istraživanja (Slika 1) je šire područje Kvarnerskog zaljeva, točnije zaljev u SI dijelu Jadranskog mora između Istre i Hrvatskog primorja. Najveći otoci u istraživanom području su Krk, Cres, Lošinj i Rab. U kopnenom dijelu Kvarnera nalazimo donjokredne vapnence, kredne vapnenčke breče, gornjokredne vapnence i dolomite uz gornjokredne rudistne vapnence. Paleogenske naslage uključuju foraminiferske vapnence i klastične naslage sa karbonatnim brečama (Šikić i dr., 1969;1972; Šušnjar i dr., 1970; Magaš 1968; Mamužić i dr., 1969) (Slika 2). Dominiraju vapnenci, dok su flišne naslage ograničene. Kvarterni nanosi djelomično pokrivaju stijene u podlozi. Na vapnencima nalazimo tlo terra rossa. Prema geotektonskom konceptu Jadranske i Dinarske strukturne formacije (Herak, 1986), Kvarner je imao izrazito dinamičan tektonski razvoj. Kvarner i Istra pripadaju Jadranskoj geodinamičkoj jedinici koja graniči sa Dinarskom jedinicom na sjeveroistoku. Tektonogeneza Kvarnera je izravno povezana sa Jadranskom karbonatnom platformom i njenom subdukcijom ispod Dinarida tokom tercijara. Nejednaki intenzitet subdukcije Istarskog poluotoka i Kvarnera ispod Dinarida je uzrokovalo nastanak struktura sa smjerom pružanja SZ-JI u zapadnom dijelu Kvarnera (Matićec, 1994). Neotektonska aktivnost od Donjeg Pliocena do danas je igrala bitnu ulogu u nastanku današnjeg reljefa. Rezultati tektonske aktivnosti su se manifestirali kao vertikalna i horizontalna pomicanja različitog intenziteta (Prelogović i dr., 1981). Vertikalna pomicanja su uzrok tonjenja Riječkog zaljeva, Kvarnerića i područja Vinodola, orijentacije Kastav platoa prema JZ, i uzdizanja Učke, planina u Gosrkom Kotaru, Velebita i nekih dijelova Cresa, Krka i Raba.

Zbog ovih tektonskih aktivnosti kredne i paleogenske naslage su borane te nalazimo reversne rasjede. Glavne strukture su orijentacije SZ-JI. Prava raznolikost reljefa Kvarnera je rezultat raznolike litologije, preoblikovanja postojećih struktura i formiranje novih struktura, sa geomorfološkim procesima (Mihaljević, 1998). Geomorfološke karakteristike reljefa, tektonske strukture i visoki stupanj seizmičnosti ukazuju na iznimno aktivnu tektoniku (Prelogović i dr., 1995;1998).

Ideja o tektonskim strukturama SZ vanjskih Dinarida je rezultat podataka strukturnog kartiranja i hipoteze da Jadranska mikroploča subducira ispod Vanjskih Dinarida (Blašković i Aljinović, 1981; Blašković, 1991, 1998, 1999; Placer, 2002, 2005,2007; Placer i dr, 2004).

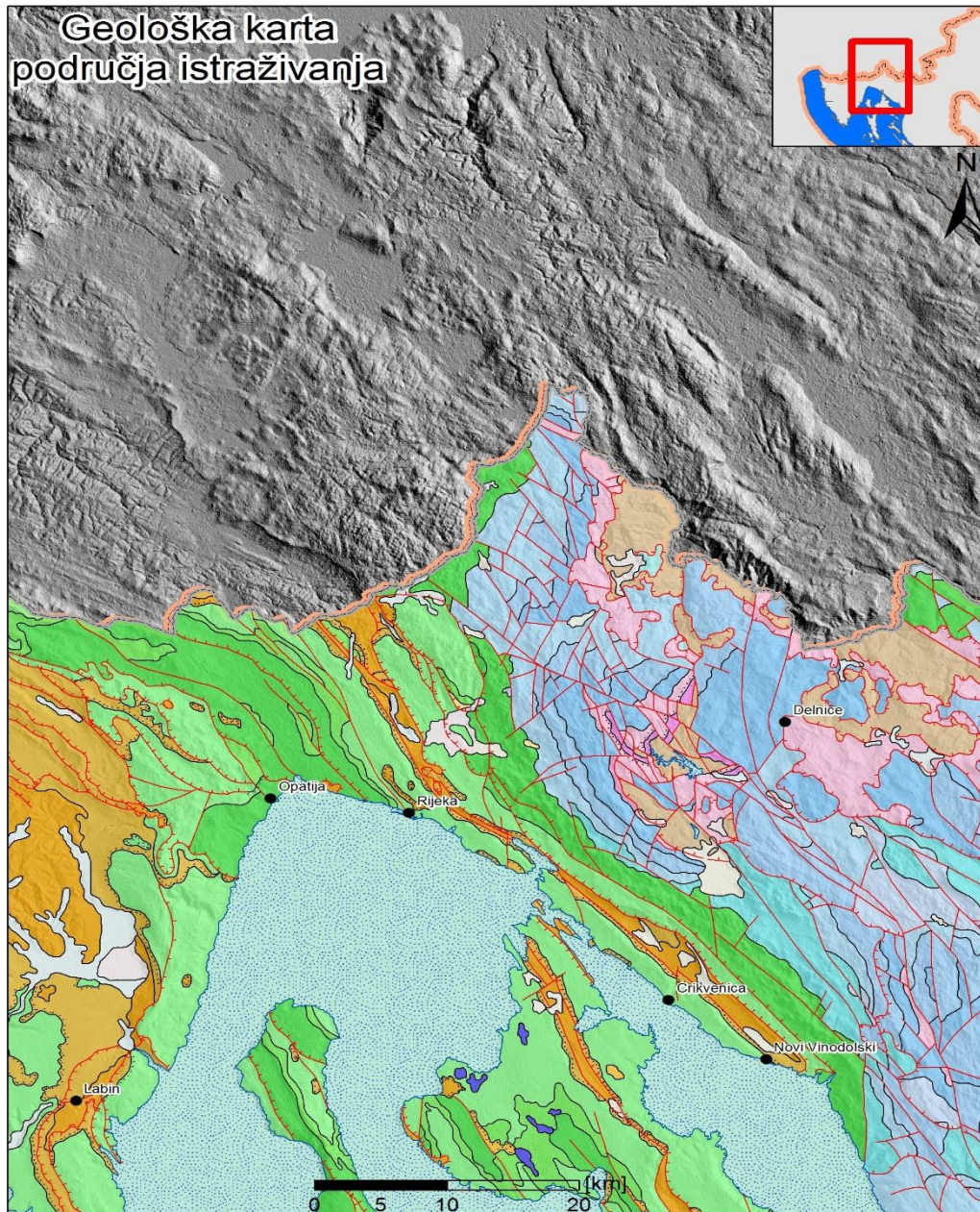


Slika 1. Reljefna karta područja istraživanja izrađena reklasifikacijom digitalnog modela reljefa i dodavanjem osjenčanog reljefa.

Na morskom dnu Kvarnera se razlikuju 3 vrste podloge (Juračić, 1999):

1. Stjenovita podloga bez sedimentata
2. Dno prekriveno grubim pjeskovitim i šljunkovitim sedimentima
3. Dno prekriveno glinovitim sedimentima

Od navedenih tipova morskog dna prevladavaju glinoviti sedimenti koje nalazimo u Riječkom zaljevu, Kvarneriću, Vinodolu. Grubi sedimenti prevladavaju kod sjevernih obala Otoka Krka i Raba i južno od Cresa i Lošinje prema otvorenom moru (Juračić i dr., 1999).



Slika 2. Geološka karta područja (HGI, 2009)

## 3. Materijali i metode

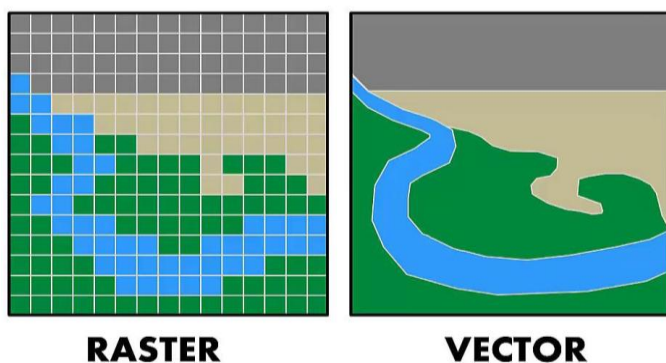
### 3.1. Priprema podataka

Većina korištenih podataka u radu su generirani koristeći programe ArcGIS, SAGA GIS, PCI Geomatica i Rockworks. Za generiranje većine podataka je korišten ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) digitalni model reljefa. Podaci o litologiji su preuzeti iz pregledne geološke karte 1:300 000 (HGI, 2009), a podaci o potresima iz kataloga potresa dobivenog od Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta

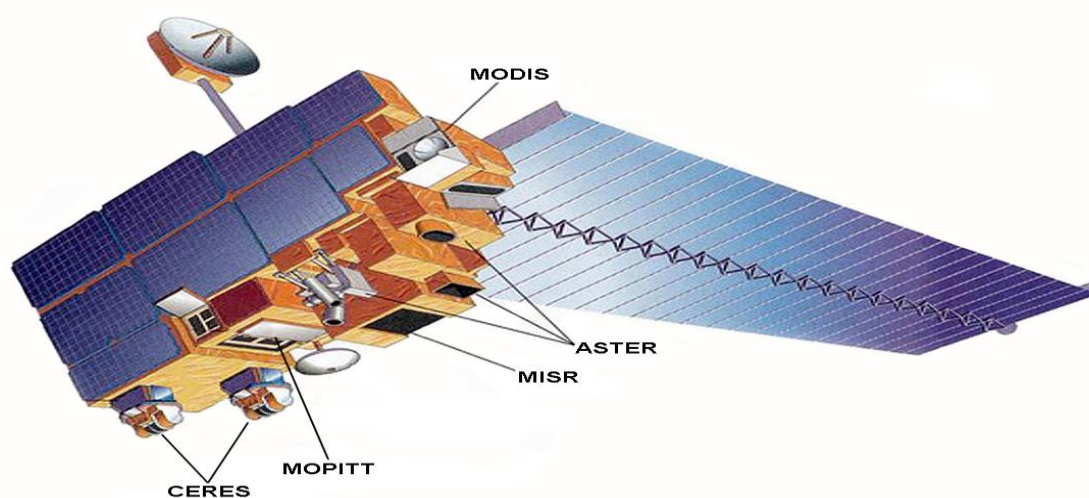
Osnovne karakteristike korištenih programa:

- *ArcGIS* je GIS program za kartografiju i geoinformatiku kojeg je razvila tvrtka ESRI 1999. godine. Koristi se za izradu i uporabu karata, prikupljanje, uređivanje i analizu geoprostornih podataka, rad sa različitim tipovima snimaka, te uređivanje prostornih relacijskih baza podataka.
- *SAGA GIS* je program za uređivanje prostornih podataka kojeg je razvio Odjel za Fizičku Geografiju na Sveučilištu Göttingen 2004. godine. Razvijen je kako bi znanstvenicima dao jednostavnu platformu za implementiranje geoznanstvenih metoda.
- *PCI Geomatica* je program za daljinska istraživanja koji služi za procesuiranje prostornih podataka i snimaka kojeg je razvila tvrtka PCI Geomatics osnovana 1982. sa sjedištem u Kanadi.
- *Rockworks* je program razvijem 1985. te se koristi u rudarskoj, naftnoj i okolišnoj industriji za vizualizaciju dubinskih slojeva, upravljanje bazama podataka bušotina, izradu čvrstih modela, izradu prikaza temeljenih na geoprostornim podacima.

Geoprostorni podaci se nalaze u formatu rastera ili vektora (Slika 3). Rasterski setovi podataka se sastoje od piksela. Jedan rasterski set podataka mora imati fiksnu veličinu piksela, te svaki piksel ima numeričku vrijednost te tako predstavlja objekt u stvarnom svijetu. Vektorski setovi podataka se sastoje od točkastih, linijskih i poligonskih objekata unutar baze podataka od kojih svaki objekt ima identifikacijski broj te može sadržavati više podataka o objektu kojeg želimo prikazati.



Slika 3. Prikaz rijeke u rasterskom i vektorskom obliku (Preuzeto sa [mgimond.github.io](https://github.com/mgimond))



Slika 4. Terra satelit (Preuzeto sa [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov))

ASTER je japanski senzor koji je jedan od pet senzora na Terra satelitu (Slika 4) kojeg je NASA lansirala u orbitu 1999. te on prikuplja podatke od veljače 2000. ASTER pruža slikovne zapise visoke rezolucije u 14 različitih kanala elektromagnetskog spektra, od vidljivog do termalnog infracrvenog. Rezolucija snimaka je između 15 i 90 metara. ASTER podaci se koriste kako bi se stvorili detaljni prikazi temperature površine, emisije, refleksije i elevacije. ASTER globalni model reljefa (GDEM) je dostupan svim korisnicima za preuzimanje na stranici <http://earthexplorer.usgs.gov>. U listopadu 2011. je objavljena druga verzija ASTER digitalnog modela reljefa u kojem su povećane horizontalna i vertikalna preciznost, bolja horizontalna rezolucija, manje artefakata i realnije vrijednosti na vodenim tijelima. Rexer i Hirt (2014) dokazuju da je ASTERova druga verzija preciznija reprezentacija terena nego SRTM model koji je rezultat međunarodnog istraživanja iz 2009 te je cilj bio generirati najkompletniji digitalni model reljefa na globalnoj skali.

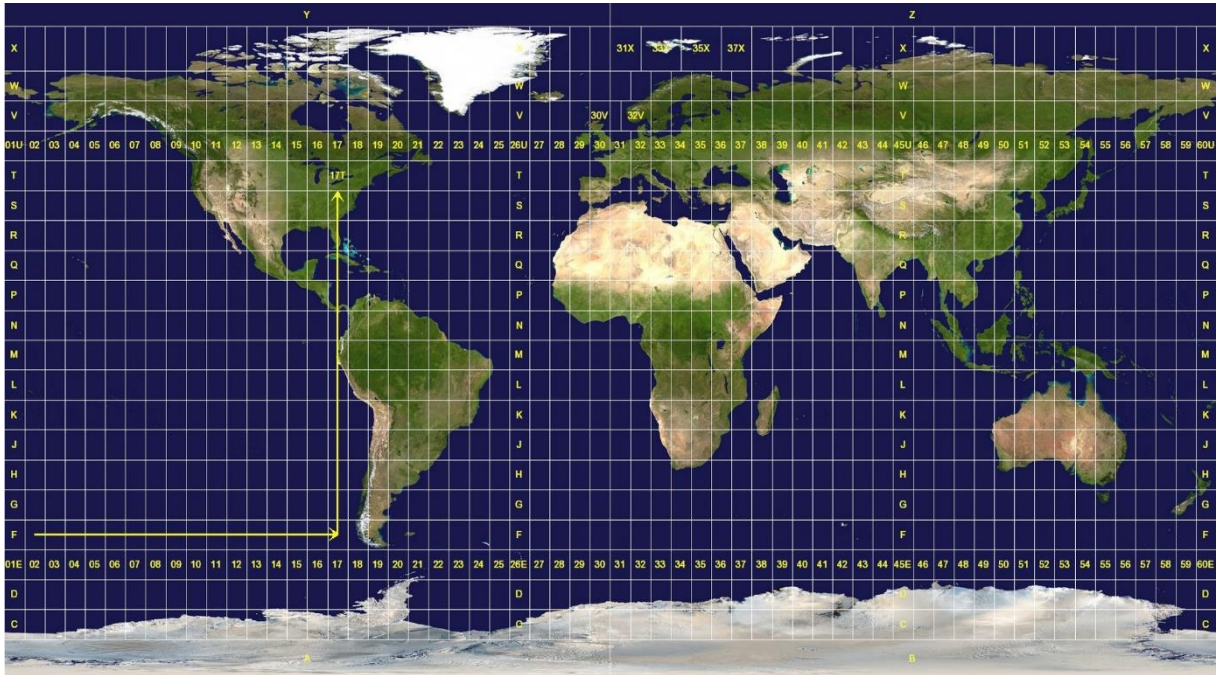
Na portalu za preuzimanje su unesene krajnje točke područja interesa te je preuzet DMR traženog područja geodetskog datuma WGS 84 te mu je zadan projekcijski sustav UTM.

WGS 84 je naziv za elipsoid koji se koristi kao referentni koordinatni sustav, on je nastao modificiranjem sustava NSWC 9Z-2. To je geocentrični koordinatni sustav čije je ishodište u središtu Zemljanih masa. Os z usmjerena je prema srednjem položaju sjevernog pola od 1900. do 1905. godine. Os X leži u ekvatorijalnoj ravnini i prolazi srednjim griničkim meridijanom. Os Y okomita je na osi X i Z i usmjerena je na istok. WGS 84 pridružen je geocentrični evipotencijalni elipsoid koji je definiran idućim parametrima:

Parametar i vrijednost	Opis
$a=6,378,137\text{m}$	Velika poluos
$1/f=1/298.257223563$	Spljoštenost
$w=7.292115 \times 10^{-5}\text{radx s}^{-1}$	Brzina rotacije
$GM=398,600.5\text{km}^3\text{s}^2$	Geocentrična gravitacijska konstanta
$C_{20}=-J_2=(-1,082.63+-0.005)\times 10^{-5}$	2. zonalna harmonika

UTM je projekcija koja koristi dvodimenzionalni kartezijski koordinatni sustav za davanje lokacija na površini Zemlje (Slika 5). UTM razgraniči Zemlju u 60 meridijanskih zona, od kojih svaka ima šest stupnjeva geografske dužine. Po geografskoj širini se dijeli na devetnaest dijelova po osam stupnjeva i dvadeseti dio od dvanaest stupnjeva širine. Duljina se označava koristeći brojeve, započevši od lokacije 180. meridijana pa prema istoku a širina se označava od 80 stupnjeva južne širine prema sjeveru do 84. stupnja koristeći slovima od slova C do slova X, te ne sadržavaju slova O i I. UTM projekcija se primjenjuje u  $84^{\circ}\text{N}$  do  $80^{\circ}\text{S}$ , sjevernije i južnije od tih područja se koristi polarna stereografska projekcija sa ishodištem u polovima.



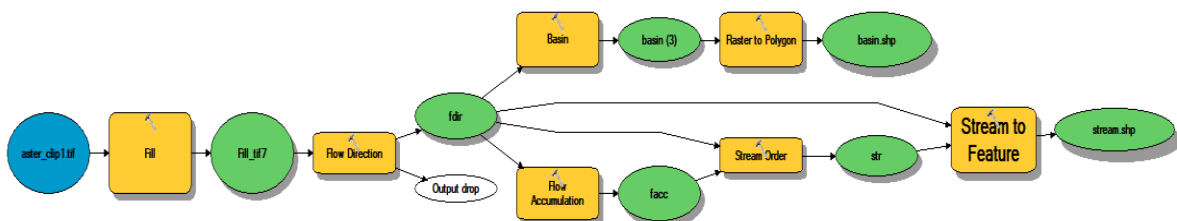


Slika 5. UTM podjela (Preuzeto sa en.wikipedia.org)

### 3.2 Slivna područja i vodotoci

Za ovaj rad je bilo potrebno delinearati slivna područja što je izrađeno u programima ArcGIS i SAGA GIS te je napravljena usporedba dobivenih rezultata.

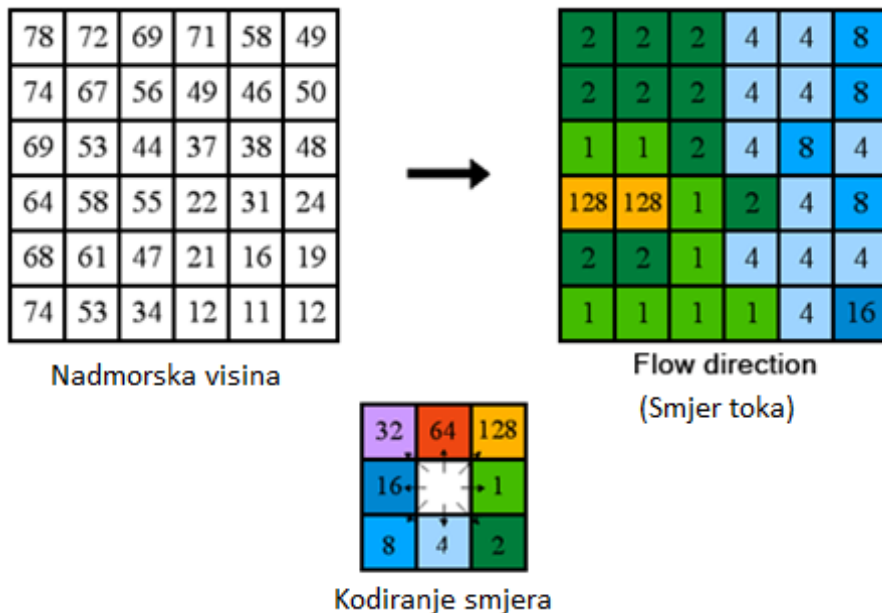
Delineacija je u ArcGIS napravljena izradom procesnog modela (Slika 6), koji objedinjava i povezuje različite funkcije iz seta alata Spatial Analyst kako bi jednim klikom iz ulaznog modela reljefa dobili završne proizvode bez da koristimo svaki alat zasebno (Mervade, V. 2002).



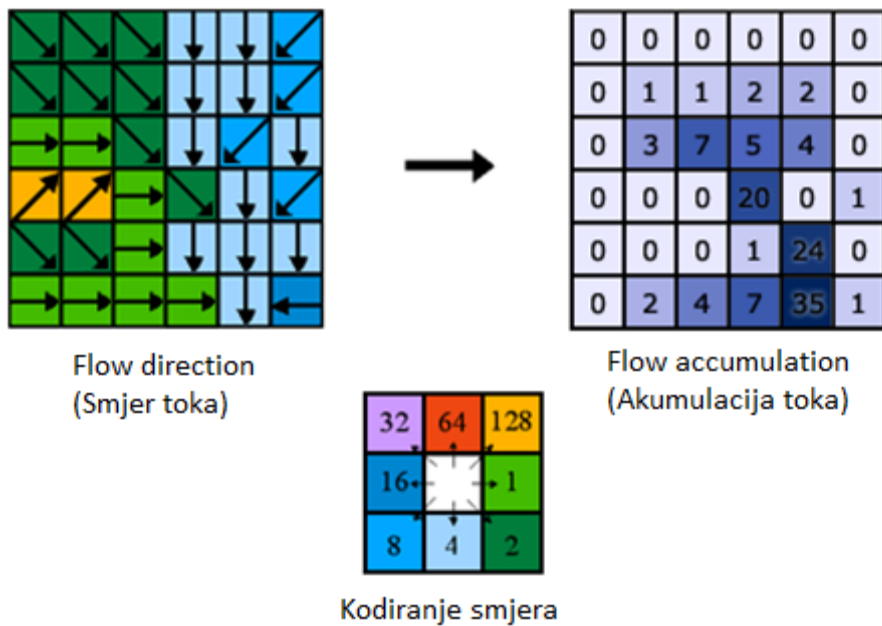
Slika 6. Izrađeni procesni model u Model Builderu(ArcGIS)

Izrađeni model se temelji na D8 algoritmu, koji funkcionira na način da analizira svaki piksel, i u odnosu na 8 okružujućih piksela, zadaje pikselu jednu od 8 vrijednosti koja označava smjer kretanja vodotoka ako se nađe u zadanom pikselu, kreće se u smjeru najmanje visinske vrijednosti u 8 okružujućih piksela. Kako u preuzetom modelu reljefa zna biti tehničkih grešaka nastalih lošom rezolucijom ili zaokruživanjem vrijednosti pri izradi modela, potrebno je proces započeti funkcijom Fill.

Funkcija Fill služi za uklanjanje malih grešaka u modelu reljefa, ona pronalazi sve piksele čija je vrijednost nije konzistentna sa okolnim pikselima te ispravi vrijednost prema najnižoj vrijednosti okolnih piksela. Nakon funkcije Fill su ispunjeni svi preduvjeti za pokretanje funkcije Flow direction (Slika 7), nakon koje je dobiven rasterski set podataka gdje svaki piksel sadrži smjer kretanja. Iz njega je koristeći funkciju Flow accumulation (Slika 8), dobiven rasterski prikaz površinskih tokova. Kombiniranjem rezultata funkcije Flow accumulation i Flow direction, koristeći funkcije Stream order i Stream to feature koji pretvaraju rasterski set vodotoka u vektorski, dobiven je set vektorskih linijskih podataka koji predstavljaju površinske tokove. Koristeći Flow direction, uporabom funkcije Basin, dobiven je rasterski prikaz slivnih područja, te dobiveni raster funkcijom Raster to polygon pretvoren u poligonski set podataka.



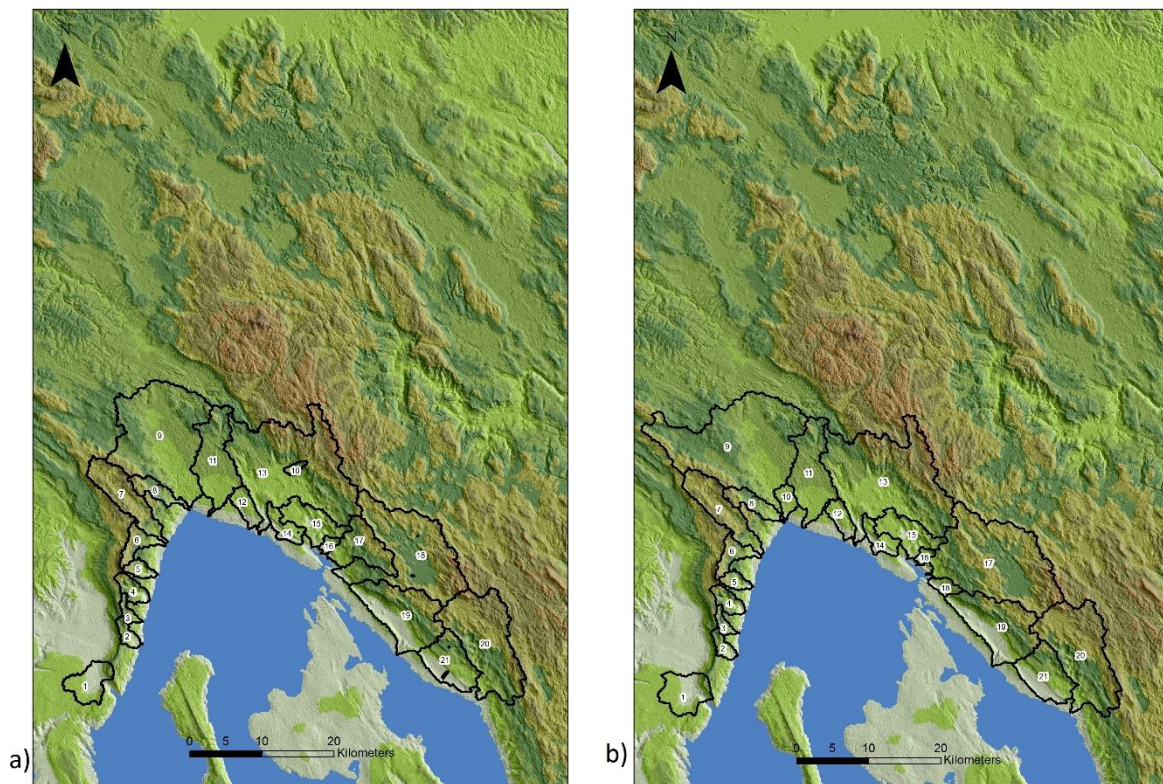
Slika 7. Flow direction funkcija, prikazane su numeričke vrijednosti smjerova kretanja toka koje nastaju iz modela reljefa.



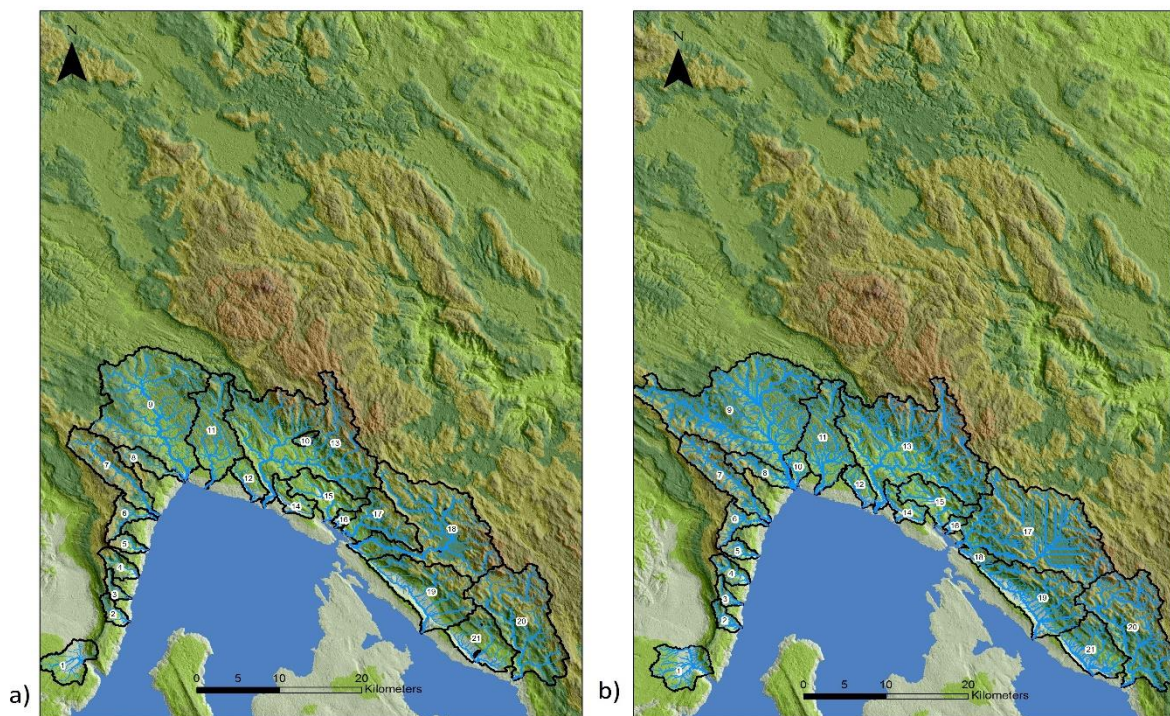
Slika 8. Flow accumulation funkcija koja kumulativno transformira vrijednosti dobivene iz Flow direction u prikaz hidrografske mreže

Kako bi se iz modela reljefa zbog mogućih grešaka uklonilo područje modela koje predstavlja morsku površinu uporabom funkcije Con je stavljen uvjet da sve piksele vrijednosti 0 ukloni.

SAGA GIS funkcioniра na sličnom principu, no u tom programu su to pozadinski procesi te je sama delineacija prilagođenija prosječnom korisniku zbog toga što nije potrebna izrada procesnog modela nego je cijeli proces jedna funkcija koja u programu spada pod alat „Terrain Analysis“. Samom obradom početnog modela reljefa koju pruža program je napravljeno više rasterskih analiza u obliku 13 rasterskih prikaza, te 2 vektorska koja predstavljaju slivna područja i hidrografiju. Slike 9 i 10 prikazuju rezultat delineacije slivnih područja i vodotoka uporabom oba pristupa.

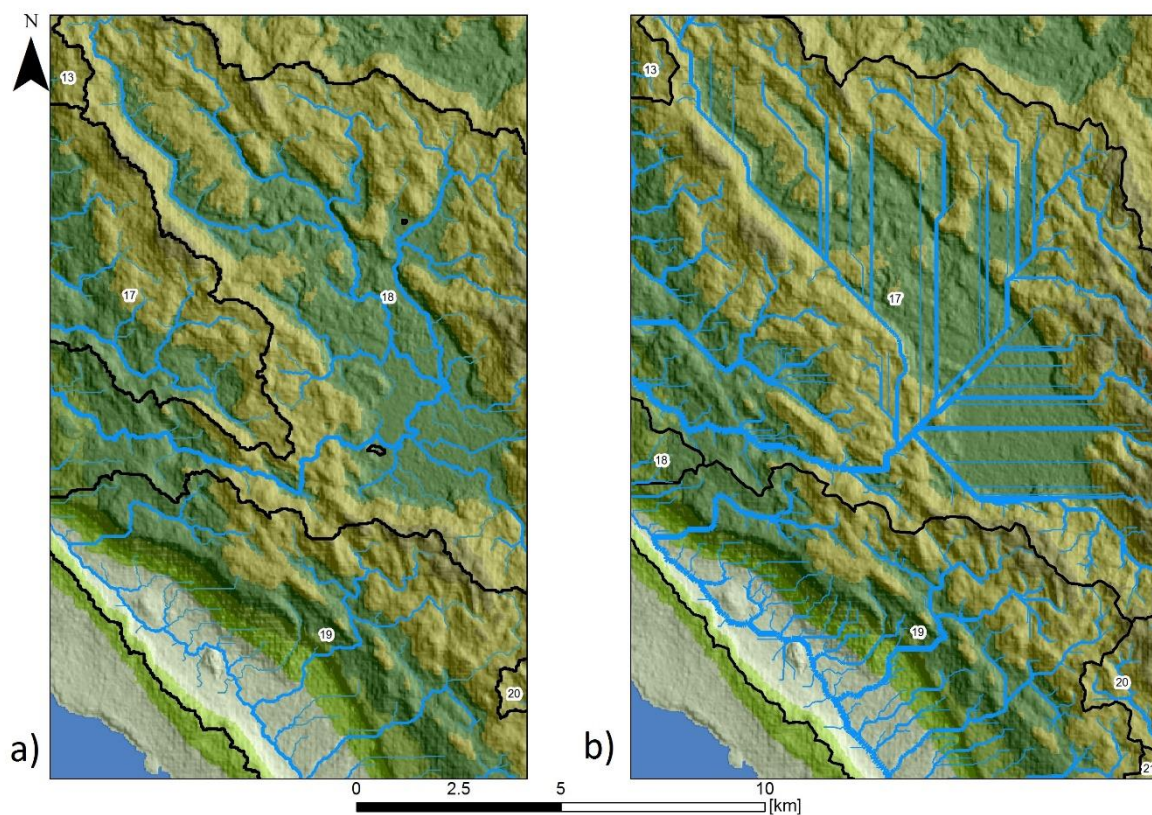


Slika 9. Delineirana slivna područja: a) SAGA GIS (Također prikazano u dodatku VII) , b) ArcGIS



Slika 10. Delineirani vodotoci a): SAGA GIS, b) ArcGIS

Za daljnji rad je odabran rezultat iz programa SAGA GIS, zbog tendencije ArcGIS-a da mjestimično vodotoke prikazuje pravocrtno zbog previše snažnog utjecaja funkcije Fill, što se vidi u slivnom području 18, tj. 17 kod ArcGISa (Slika 11), te onda program u daljnjem radu ne prepoznaje realne tokove na tom području dok su u programu SAGA GIS na istom području vodotoci realnije prikazani (Slika 10). Delineirano je 21 slivno područje i 2331 segmenata vodotoka koji su spojeni funkcijom Dissolve, koja spaja objekte iste klase na temelju zajedničkog atributa u bazi podataka, te je u ovom slučaju kao atribut odabran red vodotoka po Strahleru (1952) koji je vodotoke definirao u redove gdje se za vodotok koji je samostalan od izvora smatra da je prvog reda, te kada se dva vodotoka prvog reda spoje nastaje vodotok drugog reda i tako vrijedi za više redove. Kako je veliki dio istraživanog područja krško, hidrografija se na ovom području također odvija u podzemnim procesima, ali za potrebe ovog rada su metodama daljinskih istraživanja i softverskom obradom podataka izrađene površinske hidrografske mreže i slivna područja (Slika 10) zbog nedostupnosti točnih prostornih podataka o podzemnim tokovima i tipovima krških struktura nastalih na ovom području čija bi implementacija u ovo istraživanje zasigurno povećala točnost rezultata.



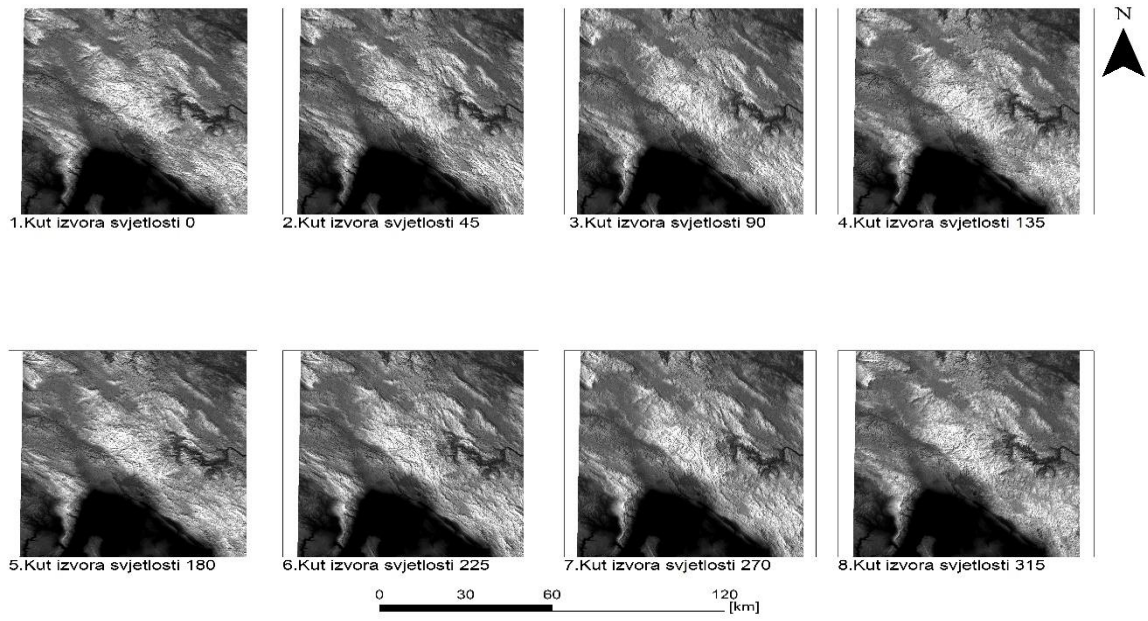
Slika 11. Prikaz razlike u delineaciji vodotoka uporabom a) SAGA GIS i b) ArcGIS

### 3.3 Lineamenti

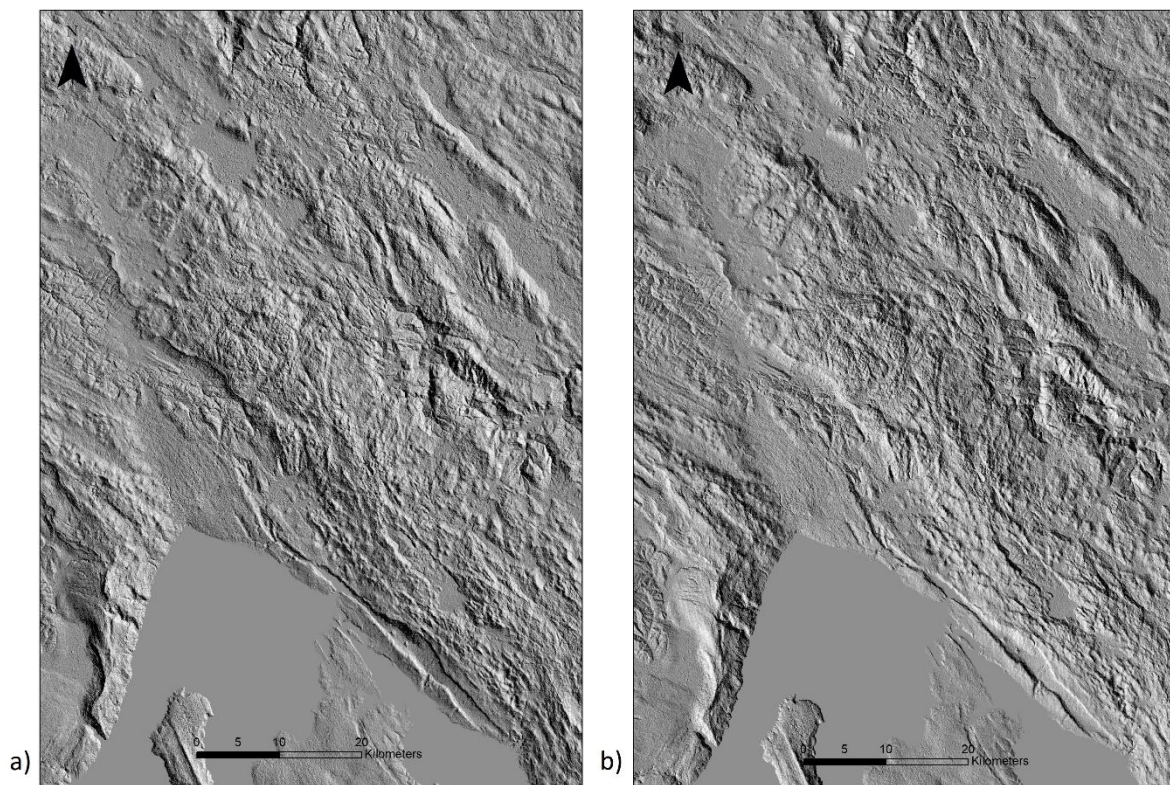
Lineament je definiran kao izdužena linearna pojava na Zemljinoj površini. O'Leary i dr. (1976) je definirao lineament kao jednostavni ili kompozitni objekt površine čiji dijelovi su poredani pravocrtno ili blago zakrivljeno i razlikuju se od okolne površine te ih je moguće kartirati. Lineamenti su također definirani kao prirodne strukture koje predstavljaju zone strukturne slabosti (Masoud i Koike, 2006).

U ovom poglavlju je prikazana sposobnost obrade osjenčanog reljefa koji je generiran iz digitalnog modela reljefa koristeći više smjerova izvora svjetlosti kako bi se izradila automatska ekstrakcija samih lineamenata.

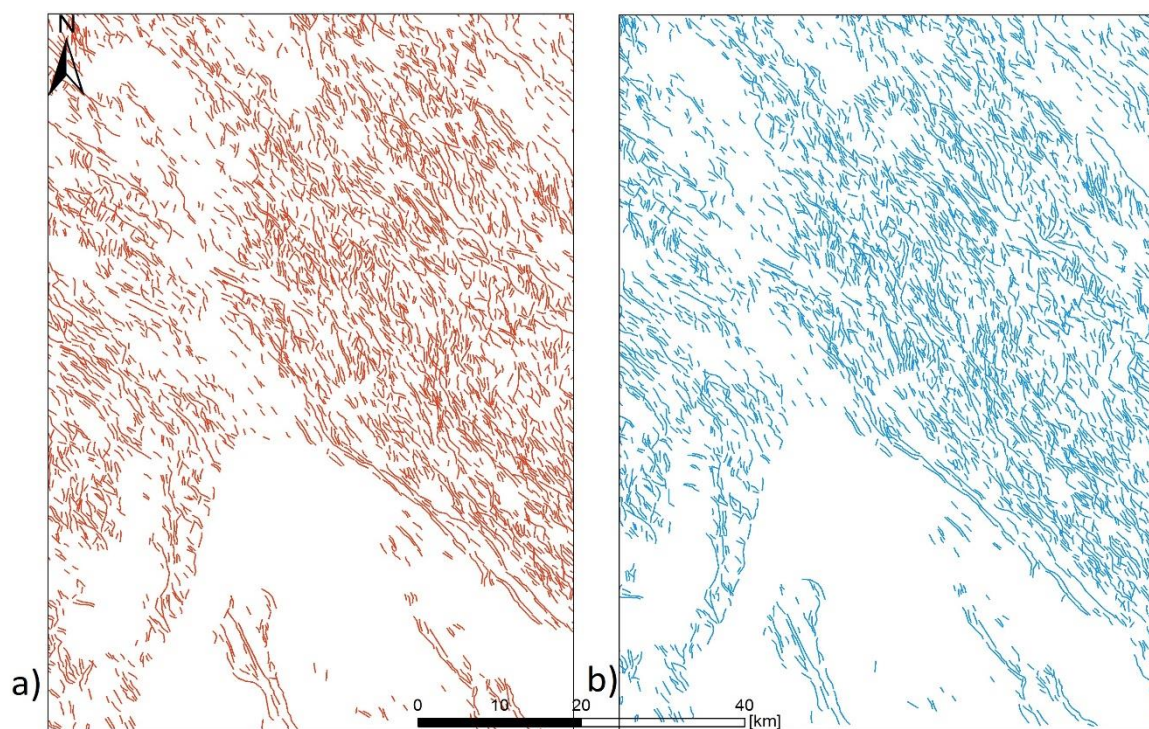
Kako bi se indentificirale topografske strukture iz digitalnog modela reljefa izrađeno je 8 različitih osjenčanih reljefa u programu ArcGIS koristeći funkciju Hillshade koja stvara prikaz reljefa sa određenim kutem izvora svjetlosti. Za sve osjenčane reljefe je uzeta vrijednost vertikalnog kuta izvora svjetlosti od  $30^\circ$ , a za horizontalne kutove (azimuti) su uzete vrijednosti: 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 i 315 (slika 12). Drugi korak je spajanje po prva i druga četiri osjenčana reljefa kako bi se dobio jedan osjenčani reljef, taj proces je napravljen koristeći GIS tehniku preklapanja snimaka. Izrađeni su osjenčani reljefi uporabom azimuta 0, 45, 90 i 135 a za drugu kombinaciju azimuta 180, 225, 270, 315. Te dvije krajnje kombinacije snimaka predstavljaju pozitivne i negativne lineamente (Slika 13) te su one korištene za automatsku ekstrakciju lineamenata (Slika 14) u programu PCI Geomatica. Algoritam za ekstrakciju lineamenata programa PCI Geomatica se sastoji od detekcije rubova i ekstrakcija krivulja (PCI Geomatica, 2001).



Slika 12. 8 različitih kutova svjetlosti u prikazu osjenčanih reljefa



Slika 13. 2 kombinirana osjenčana reljefa. a) kombinacija kutova 0, 45, 90 i 135, b) kombinacija kutova 180, 225, 270, 315



Slika 14. Prikaz ekstrahiranih lineamenata: a) lineamenti kombinacija 0, 45, 90, 135. b) lineamenti kombinacija 180, 225, 270, 315



## 4. Metode istraživanja

### 4.1 Analiza slivnih područja

U ovom poglavlju su ispitani geomorfološki faktori slivnih područja u području istraživanja na regionalnoj skali. Analiza slivnih područja ima za cilj identifikaciju slivnih područja koji su pod visokim stupnjem tektonske kontrole. Slivna područja koja su pod visokim stupnjem tektonske kontrole ispunjavaju sljedeće kriterije (Burbank i Anderson, 2001; Molin i dr. 2004; Sougnez i Vanacher, 2011). ;

1. Izduženi oblik slivnog područja
2. Visoki ili niski reljef (ovisno o dominantnim procesima)
3. Padinski procesi i geološke strukture u slivnom području.

Radi procjene hidrogeomorfoloških karakteristika i utjecaja tektonike na njih su izvršene kvantitativne analize drenažnih mreža, slivnih područja i lineamenata. Istraživanje drenažne mreže se sastoji od kvantitativne analize u kojoj uporabom raznih indeksa karakteriziramo pojedino slivno područje, ovisno o dominantnim procesima koji se odvijaju u njemu.

Analizirani su litološki faktori, razvoj drenažnih trendova i slivnih područja jer njihov odnos može pružiti korisne informacije koje se referiraju na potencijalni utjecaj tektonske aktivnosti u području istraživanja. Slivna područja imaju veći broj geomorfoloških karakteristika koje se mogu povezati sa tektonskom aktivnošću (Abrahams, 1984; Reddx i dr., 2004; Ozdemir i Bird, 2008). Procese koji se odvijaju prilikom deformacije terena je teško prepoznati i kvantificirati, naročito u slabo kartiranim područjima na kojima su izostala detaljna geološka istraživanja i manjak podataka te su za takva područja daljinska istraživanja najbolje primjenjiva. Geomorfometrija slivnih područja pruža mogućnost određivanja dominantnih procesa u razvoju drenažne mreže i razvoja terena (Segura i dr., 2007). Provedeno je više istraživanja fokusiranih na karakteristike slivnih područja te su korišteni da bi se opisali ili predvidjeli procesi poput: Predviđanja utjecaja poplava, procjenu stupnja erozije, procjenu potencijalnih zona podzemnih voda, karakterizaciju nagiba slivnih područja, procjenu tektonske akktivnosti (Strahler, 1952; Abrahams, 1984; Keller i Pinter, 1996; Al-Sulaimi i dr., 1997; Lykoudi, 2004; Mesa, 2006; Ozdemir i Bird, 2008; Hamdouni i dr., 2008; Sreedevi et al, 2005, 2009; Perez-Pena i dr., 2010, Argyriou., 2012; Matoš., 2014).

Kako bi se postiglo bolje razumijevanje razvoja slivnih područja, potrebno je razumijevanje topografije, statusa erozije i drenažnog trenda koji se razvio u regiji. U procjeni geomorfoloških

indeksa hidrografske mreže, reljefa i slivnih područja, GIS sustavi su iznimno korisni jer nam pružaju mogućnosti točnog i jeftinog pristupa geomorfometrijskoj analizi (Segura i dr., 2007; Ozdemir i Bird, 2008; Sreedevi, 2009). GIS pruža mogućnost jednostavne usporedbe dobivenih vrijednosti. U ovom radu su izračunati geomorfometrijski indeksi koji pružaju korisne informacije u karakterizaciji slivnih područja te analizom tih indeksa u određivanju stupnja tektonske aktivnosti u njima.

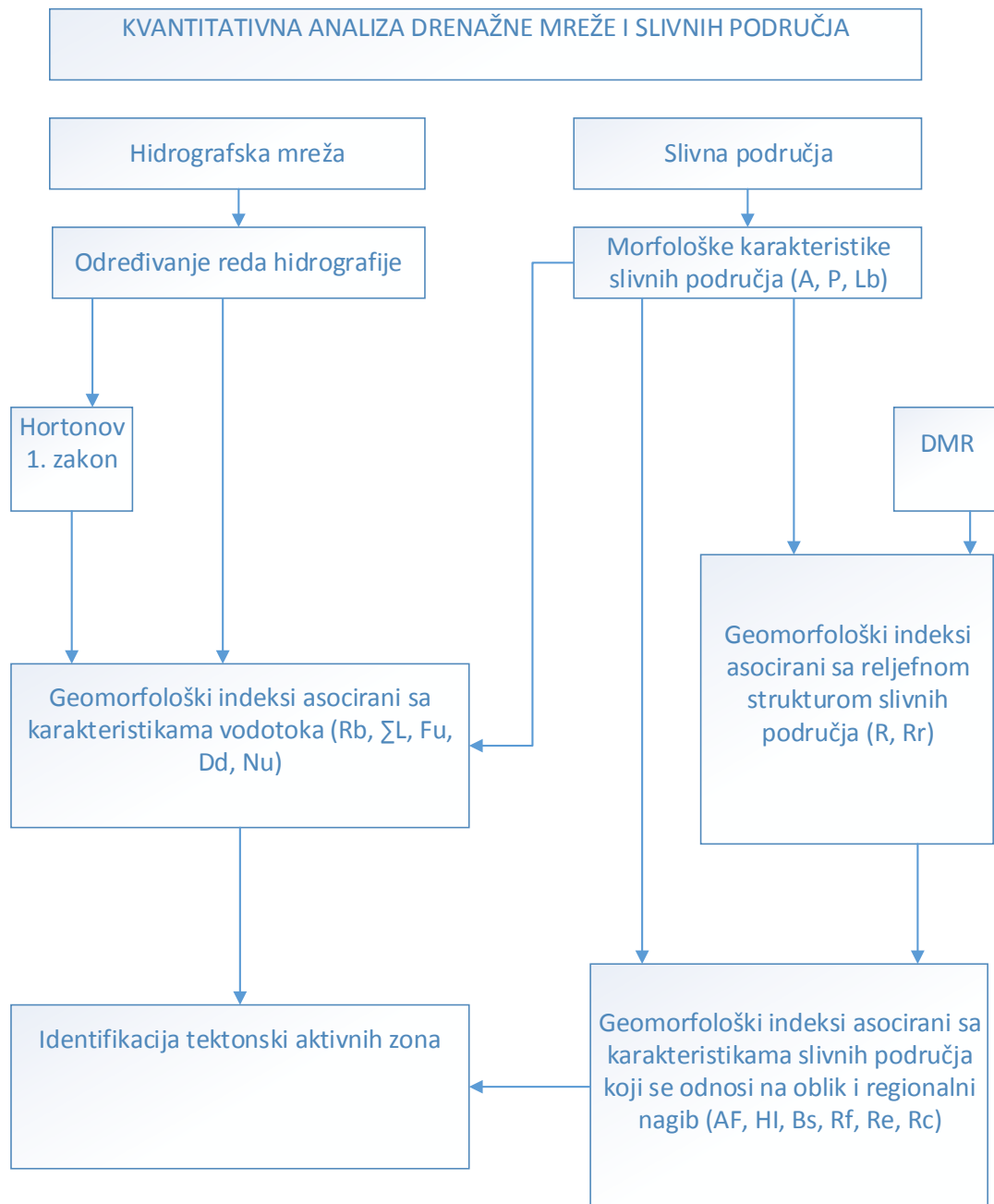
Analiza drenažnih mreža (Slika 12) se sastoji od izračuna geomorfometrijskih indeksa slivnih područja i drenažnih mreža i analize rezultata. Radi o osjetljivim faktorima na kojima je mogući utjecaj tektonske aktivnosti. Za ove analize su od setova podataka korišteni:

1. Drenažna mreža dobivena u SAGA GIS
2. Granice slivnih područja koji su dobiveni u SAGA GIS
3. Digitalni model reljefa koji je preuzet sa <http://earthexplorer.usgs.gov>

Indeksi koji su izračunati u ovom radu se mogu podijeliti u:

1. Indekse koji određuju karakteristike drenažne mreže: ukupni broj tokova (N), ukupna duljinu tokova ( $\sum L$ ), drenažnu gustoću (Dd), frekvencija tokova (Fu) i omjer račvanja ( $R_b$ ).
2. Indekse koji su povezani sa reljefom i karakteriziraju slivna područja: energija reljefa (R) i omjer reljefa ( $R_r$ ).
3. Indekse koji određuju karakteristike slivnih područja, poput geometrije, oblika, asimetrije, erozije i stupnja usijecanja: omjer izduženosti ( $R_e$ ), faktor forme ( $R_f$ ), zaobljenost područja ( $R_c$ ), faktor asimetrije (AF), hipsometrijski integral (HI) i oblik slivnog područja ( $B_s$ ).

Za potrebe izračunavanja dijela navedenih indeksa bilo je potrebno izračunati i neke osnovne karakteristike slivnih područja poput: opsega (O), površine (P) i duljine slivnog područja ( $L_b$ ).



Slika 15. Metodologija kvantitativne analize drenažne mreže i slivnih područja (Argyriou u, 2014).

## 4.2 Morfološke karakteristike slivnih područja

Kako bi se izračunali indeksi potrebni za kvantitativnu analizu slivnih područja bilo je potrebno izračunati iduće karakteristike i indekse:

- Za izračun geomorfoloških indeksa potrebno je prvo izračunati morfološke karakteristike slivnih područja koje opisuju opće karakteristike slivnih područja:
  - Površina (A)- Površina unutar granica slivnih područja koja je izračunata u ArcGISu
  - Opseg (P)-Duljina granice slivnog područja koja je izračunata u ArcGISu
  - Duljina slivnog područja ( $L_b$ )- Duljina glavnog toka, uključujući udaljenost od kraja glavnog toka do najudaljenije točke slivnog područja, koja je paralelna sa glavnim tokom (Gregory i Walling, 1973). Za izračun je uzet glavni tok ako postoji na kartografskom prikazu, ako na kartografskim prikazima ne postoji tok je uzet generirani tok najvišeg reda.
- Za izračun geomorfoloških indeksa asociranih sa reljefnom strukturom potrebno je izračunati:
  - Energija reljefa (R)- Razlika nadmorske visine između najviše i najniže točke slivnog područja (Al-Sulaimi, 1997; Sreedevi, 2005). Visoke vrijednosti upućuju na nisku infiltraciju, visoko površinsko otjecanje i visoke fiziografske planinske strukture (Reddy et. Al., 2004; Mesa, 2006). Izračunata je pomoću funkcije Zonal statistics za svako slivno područje jednadžbom;

$$R = H_{max} - H_{min}$$

R=Energija reljefa

Hmax=Najviša vrijednost nadmorske visine u području

Hmin=Najniža vrijednost nadmorske visine u području

- Omjer reljefa ( $R_r$ )- Bezdimezijski omjer visine i duljine energije reljefa (R) prema duljini slivnog područja ( $L_b$ ) (Al-Sulaimi, 1997; Mesa, 2006), čije vrijednosti mogu otkriti stupanj otpora stijena (Sreedevi, 2005). Visoke vrijednosti su karakteristične za brdovita područja i otporne stijene, dok niske vrijednosti karakteriziraju zaravnjena područja i manje otporne stijene (Sudheer 1986; Sreedevi 1999; Mesa, 2006). Izračunat je uporabom Field calculatora u ArcGISu gdje su ranije izračunati parametri umetnuti u jednadžbu:

$$R_r = \frac{R}{L_b}$$

- Za izračun geomorfoloških indeksa povezanih sa značajkama hidrografske mreže potrebno je odrediti:
  - Ukupni broj tokova (N) predstavlja ukupni broj tokova svih redova unutar slivnog područja (Al-Sulaimi, 1997). Usporedbom broja tokova za svaki red naprema broju reda se može ispitati Hortonov prvi zakon po kojem sa povećanjem reda toka dolazi do smanjenja broja vodotoka unutar reda (Horton, 1945). Ako nije zadovoljen, tektonika je mogući faktor koji utječe na hidrografsku mrežu (Chopra et. Al., 2005; Paraschou, 2005). Izračunat je razdvajanjem baze vodotoka funkcijom Clip kako bi svako slivno područje imalo svoje odvojene vodotoke kao objektu klasu te uvidom u statistike objektne klase.
  - Ukupna duljina tokova ( $\sum L$ ), je zbroj svih duljina vodotoka u slivnom području (Al-Sulaimi, 1997). Izračunata je uvidom u statistike slivnih područja koje su ranije izrađene.
  - Frekvencija tokova ( $F_u$ ) je omjer ukupnog broja tokova i površine slivnog područja (Al-Sulaimi, 1997). Vrijednosti upućuju na stupanj strmosti, propusnosti stijena i površinskog otjecanja. Visoke vrijednosti ( $>5$ ) su povezane sa nepropusnim materijalima visokim reljefom i niskom infiltracijom, dok niske vrijednosti impliciraju visoku propusnost, niski reljef i visoku infiltraciju (Reddy i dr. 2004; Ozdemir i Bird, 2008). Izračunata je uvrštavanjem ranije dobivenih parametara u jednadžbu:

$$F_u = \frac{N}{A}$$

- Drenažna gustoća (Dd) je omjer ukupne duljine tokova i površine slivnog područja (Al-Sulaimi, 1997;). Drenažna gustoća otkriva informacije o potencijalnom površinskom otjecanju, nagibu površine, propusnosti stijena i otpora na eroziju ( Reddy et al ., 2004; Mesa, 2006). Drenažne gustoće niže od 5 se povezuju sa grubim drenažnim mrežama i propusnim materijalima (Sreedevi, 2005). Drenažnu gustoću kontroliraju faktori poput nagiba i energije reljefa (Sreedevi, 2009). Niske vrijednosti Dd upućuju na niski reljef unutar slivnog područja i propusne materijale, dok visoke Dd vrijednosti upućuju na visok reljef i nepropusne stijene (Strahler, 1964, Sreedevi, 2009). Drenažna mreža svakog slivnog područja je analizirana prema prvom Hortonovom zakonu. Izračunata je uvrštavanjem ranije dobivenih parametara u jednadžbu:

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

- Omjer bifurkacije ( $R_b$ )- za njegovo računanje koristimo logaritamske prikaze hidrografskog reda naprema broju tokova. Računa se anti log nagiba (Maxwell, 1955).  $R_b$  indeks je koristan da bi se odredilo stupanj strukturne kompleksnosti slivnog područja i utjecaja geoloških struktura na razvoj hidrografske mreže (Horton, 1945; Strahler, 1957). Omjer bifurkacije u rasponu od 3 do 5 upućuje na prirodne drenažne sustave i minimalni utjecaj geoloških struktura (Ozdemir i Bird, 2008). Unutar tog raspona (3-5), niže vrijednosti se odnose na manje razine strukturnih poremećaja bez distorzije hidrografskih mreža dok više vrijednosti upućuju na visoku strukturnu kompleksnost i nisku propusnost (Reddy i dr., 2004). Abnormalne vrijednosti  $R_b$  su ili manje od 3 ili veće od 5 i pojavljuju se u područjima gdje je geološka kontrola dominantna (Mekel, 1970; Reddy i dr., 2004)

$$Nu = R_b^{K-u}$$

$Nu$ =Broj tokova reda  $u$

$R_b$ =Omjer

bifurkacije

$K$ = Maksimalni red toka

$U$ = red tokova

Kako je  $R_b$  konstantna za hidrografsku mrežu, ostaje jednačina

$$R_b = \frac{Nu}{N(u + 1)}$$

Prethodno izračunati podaci služe za istraživanje drenažne mreže uporabom geomorfoloških indeksa koji pružaju informacije o razvoju hidrografske mreže potencijalnom neotektonskom deformacijom. Idući korak je procjena cjelokupnog slivnog područja, te su izračunati kojima se opisuje geometrija, oblik, nagib i erozija uporabom granice slivnih područja i digitalnog modela reljefa u ArcGISu

- Za izračun geomorfoloških indeksa asociranih sa slivnim područjima u odnosu na geometriju i regionalne nagibe potrebno je izračunati:
- Omjer izduženja ( $R_e$ ) je omjer promjera kružnice i površine slivnog područja naprema duljini slivnog područja (Schumm, 1956; Al-Sulaimi, 1997; Mesa, 2006). Ovaj omjer daje proporcionalnost slivnog područja koje je izduženo tektonskom aktivnošću i manjim udjelom litologijom (Lykoudi, 2004), dok slivna područja kružnog oblika indiciraju manje aktivne tektonske procese (Hamdouni i dr., 2008). Vrijednosti indeksa iznad 0.8 karakteriziraju niski reljef dok strmi reljef karakteriziraju vrijednosti niže od 0.8 (Fairbridge, 1968). Niske vrijednosti indeksa upućuju na izdužena slivna područja, koja su reprezentativna za kontinuirano izdizanje i rijeke pod tektonskim utjecajem

(Sreedevi, 2005). Ovaj indeks je indikator recentne tektonske aktivnosti (Cuong i Zuchiewicz, 2001). Vrijednosti indeksa niže od 0.5 upućuju na tektonski aktivnija područja, vrijednosti od 0.5 do 0.75 umjereno aktivna područja dok vrijednosti iznad 0.75 tektonski slabije aktivna područja (Kale i Shejwalkar 2008). Izračunat je uvrštavanjem ranije dobivenih parametara u jednadžbu:

$$Re = \frac{D}{Lb} = \frac{\frac{2A}{\pi}}{Lb} = \frac{1.128 * A^{0.5}}{Lb}$$

- Omjer forme (Rf) je omjer površine slivnog područja naprema kvadratu duljine slivnog područja (Horton, 1945). Ovaj indeks je povezan sa vrhuncem otjecanja (Sreedevi, 2005) i intenziteta toka (Mesa, 2006) hidrografske mreže. Također ukazuju da niže vrijednosti karakteriziraju izduljena slivna područja sa manje povremenih tokova i snažnijim glavnim tokom. To može ukazivati na egzogene procese unutar slivnih područja, koji sprječavaju pravilni razvoj hidrografske mreže. U drugu ruku, visoke vrijednosti postoji u kružnim slivnim područjima koja imaju endogene procese (Reddy i dr., 2004). Izračunat je uvrštavanjem ranije dobivenih parametara u jednadžbu:

$$Rf = \frac{A}{Lb^2}$$

- Cirkularnost slivnog područja (Rc) predstavlja omjer površine slivnog područja naprema površini kruga unutar opsega slivnog područja, njegova vrijednost karakterizira trenutni stupanj zrelost i stupanj cirkularnosti (Strahler, 1964; Al-Sulaimi, 1997; Sreedevi, 2005; Mesa, 2006). Izduženija slivna područja imaju omjere između 0.4 i 0.5 (Chow, 1964), dok zaobljena slivna područja imaju vrijednosti bliža 0.8 (Lykoudi 2004). Izračunat je uvrštavanjem ranije dobivenih parametara u jednadžbu:

$$Rc = \frac{4\pi A}{P^2}$$

- Indeks oblika slivnog područja (Bs) je omjer duljine slivnog područja mjereći ga od izvora do najdaljeg dijela granice slivnog područja i najšireg dijela slivnog područja okomitog na glavni tok (Cannon, 1976; Hamdouni et al, 2008). Ovaj indeks karakterizira slivna područja čiji oblik je razvijen i kontroliran relativno aktivnom tektonikom slivnog područja (Ramirez, 1998). Izduljeni oblici slivnih područja upućuju na snažne tektonske procese dok zaobljenija slivna područja na manje aktivne tektonske procese (Bull i McFadden, 1977; Hamdouni i dr., 2008). Visoke vrijednosti indeksa ukazuju na izdužena slivna područja dok niske vrijednosti ukazuju na zaobljena slivna

područja. Izračunat je od ranije dobivenih parametara i mjerenjem širine i uvrštavanjem u jednadžbu:

$$Bs = \frac{Bl}{Bw}$$

Bl=Duljina slivnog područja

Bw=Širina slivnog područja

- Faktor asimetrije (AF) je kvantitativna metoda za karakterizaciju asimetrije drenažne mreže i nagiba terena. AF označava postotak površine slivnog područja koje je na desnoj strani glavnog toka u omjeru na ukupnu površinu slivnog područja (Keller i Pinter, 1996, Salvany, 2004). Izračunat je tako da se uporabom alata buffer napravio poligonski set podataka oko glavnog toka, s kojim je uporabom alata Cut features slivno područje razdvojeno na dva dijela kojima su izračunate površine te su uvrštene u jednadžbu:

$$AF = 100 * (Ar \setminus At)$$

AF indeks se pokazao nepouzdanim područjima sa blagom topografijom i mladim antiklinalama (Alastair, 2008). To upućuje na to da bi se u regiji trebala biti intenzivna i dugotrajna tektonika slivnog područja kako bi analiza faktor bila valjana. Pri stabilnim uvjetima faktor asimetrije bi trebao biti 50%. Devijacije od te vrijednosti su vjerojatnije rezultati tektonske aktivnosti nego litološki faktori (Gardner i dr., 1987). Apsolutno odstupanje (AF-50) je bitno kako bi se procijenila tektonska aktivnost slivnog područja (Hamdouni, 2008). Vrijednosti apsolutnog odstupanja blizu nule ukazuju na nisku tektonsku aktivnost dok više vrijednosti ukazuju na visoku tektonsku aktivnosti. Vodotoci uzeti za računanje faktora asimetrije su dominantni vodotoci dobiveni automatskom delineacijom.

- Hipsometrijska krivulja i hipsometrijski integral (HC i HI)

Hipsometrija je disciplina koja se bavi mjerenjem nadmorske visine. Hipsometrijske analize se provode kako bi se unutar slivnog područja ispitaio utjecaj erozije, karakteristika razvoja reljefa, te kako bi se identificirali i objasnili tektonski procesi unutar regije. Weissel i dr. (1994) je predložio da hipsometrija otkriva interakciju između erozije i tektonike te da kao takva može pružati značajan geomorfološki indeks. Može se istraživati pomoću hipsometrijske krivulje i hipsometrijskog integrala.

Hipsometrijska krivulja, koju je definirao Strahler (1952), opisuje relativan odnos između površina iznad ili ispod neke referentne točke na određenoj nadmorskoj visini u slivu. Krivulja se konstruira tako da se za svaku promatranu točku unutar sliva izračuna



relativna visina ( $h/H$ ) i relativna površina ( $a/A$ ). Izračunate su za svako slivno područje koristeći ArcGIS i Microsoft Excel i prikazane u dodatku IV.

Pogledom na hipsometrijske krivulje možemo dobiti puno informacija o slivnom području. Konveksni oblik hipsometrijske krivulje predstavlja područja sa dubokim usijecanjem i blagom erozijom. Pravocrtna hipsometrijska krivulja predstavlja područja sa ravnotežnim stanjem i osrednjim usijecanjem i erozijom. Područja sa konkavnim krivuljama predstavljaju niski reljef i snažnu eroziju (Keller i Pinter, 2002; Hamdouni i dr., 2008).

- Hipsometrijski integral je način da se kvantitativno izrazi oblik hipsometrijske krivulje sliva, jer predstavlja površinu ispod hipsometrijske krivulje. Vrijednosti HI su u rasponu od 0,0 – 1,0. Jedan od načina na koji se može izračunati je sljedeća jednadžba:

$$HI = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$$

$H_{mean}$ =prosječna nadmorska visina

$H_{min}$ =najniža nadmorska visina

$H_{max}$ =najviša nadmorska visina

Kako bi se izračunali hipsometrijski integral i hipsometrijska krivulja za slivove su slivna područja ekstrahirana kao zasebni slojevi, te pomoću njih i alata Clip su ekstrahirani pripadajući dijelovi modela reljefa.

Kako bi se izračunala hipsometrijska krivulja za svaki sloj je prvo, koristeći alat Reclassify, napravljena reklasifikacija podataka za svaki sloj zasebno, gdje su visine klasificirane u intervalima od sto metara. Nakon toga je taj raster pretvoren u vektorski set podataka koristeći alat Raster to polygon, te su uporabom alata Dissolve spojeni svi poligoni jednakog visinskog intervala. Izmjerene su površine svih spojenih poligona za svako slivno područje te je kroz njihov omjer sa ukupnom površinom slivnog područja dobivana zastupljenost svakog intervala u slivnom području. Ti podaci su pretvoreni u Excel tablice u kojima se izračunao omjer relativne visine i relativne površine za svaki interval te su konstruirane hipsometrijske krivulje za svako slivno područje.

- Analiza lineamenata

U dodatku 4. su prikazani rozetini dijagrami lineamenata za svako slivno područje, analiza je izrađena u programu Rockware. Prvo je u ArcGISU uporabom funkcije Clip features at vertex stvoren novi set lineamenata gdje su ranije izrađeni lineamenti razdvojeni u svakom promjenu smjera. Zatim je u atributnoj tablici izračunata  $x$  i  $y$

koordinata za početak i kraj svakog lineamenta. Lineamenti su razdvojeni po slivnim područjima pa ubačeni u program Rockware koji ima algoritam za izradu ružinih dijagrama na temelju početnih i završnih koordinata linijskih objekata što nam pruža mogućnost analize linijskih objekata unutar definiranog područja što je u ovom slučaju slivno područje.

#### 4.3 Analiza tektonske aktivnosti na lokalnoj razini

Površinske karakteristike slivnih područja i geomorfološki indeksi pružaju korisne informacije o neotektonskom režimu regije (Bull i McFadden, 1977; Keller, 1986; Silva i dr., 2003; Pedrera, 2009). Geomorfološki indeksi karakteriziraju tektonsku aktivnost gorskih čela i migraciju tokova uvjetnovanih tektonskim silama. Analize na razini slivnih područja su generalizirane i pružaju nam jedan limitirani tip informacija o razvoju slivnih područja. Zbog toga je i izrađena analiza na lokalnoj razini, koja koristi različite faktore od prethodne analize koja se temeljila na razini slivnih područja dok u ovoj analizi se koriste generirani rasterski setovi podataka, a temeljena je na izradi indeksa neotektonske aktivnosti (Argyriou, 2014).

Indeks duljine i nagiba glavnog toka (SL) je omjer gradijenta promjene nagiba između dvije točke toka i udaljenosti između te dvije točke pomnožen sa ukupnom duljinom od središta između te dvije točke do najviše točke kanala (Hack, 1973; Keller, 1986). Sa ovim indeksom možemo istražiti utjecaj tektonske aktivnosti, litologije i topografije na vodotok. Visoke vrijednosti ukazuju na zone tektonske aktivnosti (Keller, 1986) ili promjenu litologije. Kako bi se izračunao SL napravljena je filtracija vodotoka dobivenih iz digitalnih modela reljefa. Na područjima gdje postoje stvarni površinski tokovi su prilagođeni prema njima, dok na područjima gdje nema kartografski zabilježenih površinskih tokova su za analizu odabrani kreirani tokovi koji su dominantni po Strahlerovoj klasifikaciji. Za izračun SL su uzeti glavni tokovi slivnih područja i pomoćni tokovi koji su odabrani da bi se obuhvatio veći dio područja. Postoji par kriterija koji podaci moraju zadovoljiti prije nego se pristupi računanju SL na automatski način, odnosno svi linijski objekti moraju završavati nizvodno i moraju biti u jednom dijelu, za drugi kriterij je izrađena topologija u ArcGISu kako bi se ispitala valjanost podataka. Prvo je korišten alat Generate Points along lines koja stvori točkasti objekt u odabranom intervalu uzduž linijskog objekta, uzet je interval od 100m i 500m. Tim točkama je pridodana visinska vrijednost koristeći funkciju Extract Values to Points te alatom Table to Excel je cijeli skup podataka prebačen u Excel tablicu. U Microsoft Excelu su izračunati

parametri potrebni za dobivanje SL vrijednosti (Perez-Pena, 2009), te su isti podaci pridruženi pripadajućim točkama preko identifikacijskih brojeva kreiranih točaka.

Jednadžba za SL glasi:

$$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} * L$$

$\Delta H$ =Promjena nadmorske visine u intervalu

$\Delta L$ =Duljina intervala

L=Duljina vodotoka od početka ukupnog toka do polovice intervala

Osim računanja na razini slivnih područja, neki indeksi se mogu računati na lokalnoj razini. Prvo je uporabom alata Create fishnet napravljena mreža koja pokriva čitavo područje istraživanja dimenzija 1 km x 1 km sa točkom u centroidu svakog kvadrata. Točka koja je unutar kvadrata sadrži identifikacijski broj jednak kvadratu. Zatim se alatom Zonal statistics mogu računati parametri koji se nalaze unutar tih kvadrata. Ekstraktiranjem tih podataka u obliku Excel tablice u kojem je izrađena analiza podataka koji su kasnije pridruženi točkastim objektima je onda napravljena metoda inverznog daljinskog koeficijenta (eng. Inverse distance weighting IDW) statistička metoda.

IDW je deterministička statistička metoda za interpolaciju točkastih podataka u prostoru. Kako je u ovom radu korišten fishnet od 1 kmx1 km, razmak među poznatim točkama u središtima tih kvadrata je 1 km. Za sve nepoznate točke između njih IDW izrađuje vrijednost koji je težinski prosjek vrijednosti okolnih točaka.

Na ovaj način su izračunate frekvencija vodotoka ( $F_u$ ), hidrografska gustoća ( $D_d$ ), Energija reljefa ( $R$ ), te gustoća ( $L_d$ ) i frekvencija lineamenta ( $L_f$ ).

Također su izračunati i gradijent nagiba i indeks topografske vlažnosti.

Gradijent nagiba (Slope) je algoritam koji pokazuje maksimalni nagib terena koji upućuje na promjene nadmorske visine između svakog piksela. Niske vrijednosti ukazuju na zaravnjene površine dok visoke vrijednosti ukazuju na strma područja. Nagib se može izraziti u postocima ili u stupnjevima, u ovom radu je izraženo u stupnjevima. Izrađen je alatom Slope u ArcGISU koji kao ulazni parametar ima DMR.

Topografski indeks vlažnosti (TWI) određuje prostornu raspodjelu vlažnosti tla i površinske zasićenosti pod utjecajem topografije (Sorensen, 2005). Ovaj indeks je usko povezan sa nagibom jer voda ima tendenciju akumulacije na dnu nagiba. Sa niskim vrijednostima ovog

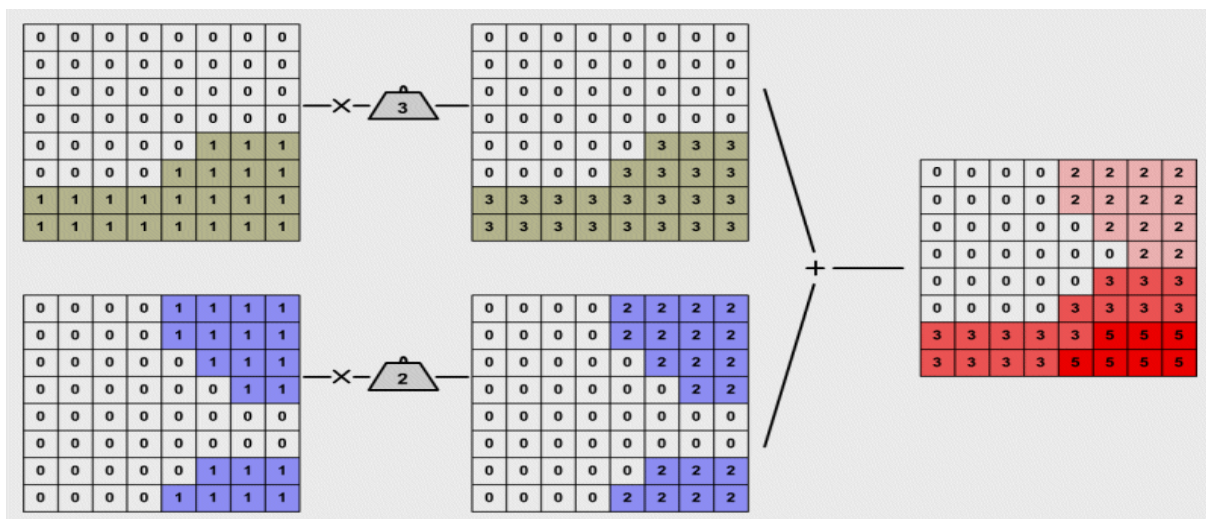
indeksa povežujemo doline V oblika sa visokim stupnjem usijecanja i reljefne strukture visokog reljefa sa niskim stupnjem akumulacije vlažnosti. Visoke vrijednosti predstavljaju područja visokog gradijenta sa visokim stupnjem akumulacije vlažnosti i aluvijalne depozite (Paraschou, 2005). TWI je automatski izračunat u SAGA GISu.

#### 4.4 Indeks neotektonske aktivnosti

Argyriou (2014) je uporabom analitičkog hijerarhijskog procesa izradio indeks neotektonske aktivnosti. On predstavlja kartografski prikaz relativne neotektonske aktivnosti koja je dobivena kombinacijom različitih faktora. Svaki faktor koji je u početku u obliku ranije dobivenog rasterskog seta podataka je reklasificiran uporabom alata Reclassify u novi rasterski set podataka koji intervale iz početnog oblika pretvara u nove klase koje su prikazane u tablici 1. Svakom od faktora je zadan težinski koeficijent koji označava utjecaj tog faktora u postocima, te unutar svakog od tih faktora vrijednosti imaju svoj težinski faktor koji se nalazi u obliku standardiziranih vrijednosti u rasponu od 0 do 100, oba težinska faktora numerički zadaju vrijednost utjecaja faktora na neotektonsku aktivnost. Alat Weighted overlay zadaje te parametre svakom faktoru te ih onda po njihovom težinskom koeficijentu na razini faktora i na razini vrijednosti samog faktora množi da bi pružio prikaz indeksa neotektonske aktivnosti. Korišteni faktori su: energija reljefa, indeks duljine i nagiba glavnog toka, hidrografska gustoća, frekvencija vodotoka, gustoća lineamenata, frekvencija lineamenata, nagib, topografski indeks vlažnosti i litologija. Litologija je preuzeta iz pregledne geološke karte 1:300 000 (HGI, 2009), te je reklasificirana po uzoru na Argyriou (2014).

Jednadžba prikazuje način rada alata Weighted overlay gdje je  $F_w$  težinski koeficijent svakog faktora a  $F_r$  standardizirani rang vrijednosti unutar faktora. (Slika 16)

$$\sum F_w * F_r$$



Slika 16. Prikaz funkcije Weighted Overlay

Tablica 1. Prikaz težinskih koeficijenata u računanju indeksa neotektonske aktivnosti

Faktori	Težinski koeficijent	Klase	Rangirane vrijednosti(Fw)	Standardizirane vrijednosti(Fr)
Energija reljefa	0.2084	0 - 68.6	0	0
		68.6 - 137.2	1	10
		137.2 - 205.9	2	20
		205.9 - 274.5	3	30
		274.5 - 343.18	4	40
		343.18 - 411.8	5	50
		411.8 - 480.4	6	60
		480.4 - 549.1	7	70
		549.1 - 617.7	8	80
		617.7 - 686.3	9	90
686.3 - 755	10	100		
indeks duljine nagiba glavnog toka	0.2163	0 - 2	0	0
		2.1 - 3.5	1	10
		3.5 - 5	2	20
		5 - 6.5	3	30
		6.5 - 8.5	4	40
		8.5 - 10.5	5	50
		10.5 - 13	6	60
		13 - 17	7	70
		17 - 25	8	80
		25 - 35	9	90
35 - 44	10	100		
Gustoća lineamenata	0.1487	0.1 - 1.1	0	0
		1.1 - 2.1	1	10
		2.1 - 3.1	2	20
		3.1 - 4.1	3	30
		4.1 - 5.1	4	40
		5.1 - 6.1	5	50
		6.1 - 7.1	6	60
		7.1 - 8.1	7	70
		8.1 - 9.1	8	80
		9.1 - 10.1	9	90
10.1 - 12	10	100		

Frekvencija lineamentata	0.1487	0 - 0.4	0	0
		0.4 - 0.8	1	10
		0.8 - 1.2	2	20
		1.2 - 1.6	3	30
		1.6 - 2	4	40
		2 - 2.4	5	50
		2.4 - 2.8	6	60
		2.8 - 3.2	7	70
		3.2 - 3.6	8	80
		3.6 - 4	9	90
		4 - 4.7	10	100
Drenažna gustoća	0.717	0 - 0.4	0	0
		0.4 - 0.8	1	12.5
		0.8 - 1.2	2	25
		1.2 - 1.6	3	37.5
		1.6 - 2	4	50
		2 - 2.4	5	62.5
		2.4 - 2.8	6	75
		2.8 - 3.2	7	87.5
		3.2 - 3.45	8	100
Frekvencija vodotoka	0.717	0 - 0.4	1	10
		0.4 - 0.8	2	20
		0.8 - 1.2	3	30
		1.2 - 1.6	4	40
		1.6 - 2	5	50
		2 - 2.4	6	60
		2.4 - 2.8	7	70
		2.8 - 3.2	8	80
		3.2 - 3.6	9	90
		3.6 - 4	10	100
Nagib	0.0662	0° - 2°	0	0
		2° - 5°	1	20
		5° - 15°	2	40
		15° - 35°	3	60
		35° - 55°	4	80
		>55°	5	100
Topografski indeks vlažnosti	0.0392	0 - 5.1	0	0
		5.1 - 7.1	1	33
		7.1 - 9.1	2	67
		9.1 - 22.6	3	100
Litologija	0.029	Karbonati	1	20
		Fliš	3	60
		Neogenski sedimenti	4	80
		Kvartarni sedimenti	5	100

## 5.Rezultati

Određivanje reda drenažne mreže se temelji na Strahlerovom sustavu (Strahler, 1952). Kvantitativna analiza drenažne mreže je započeta ispitivanjem prvog Hortonovog zakona koji nalaže da bi sa povećanjem reda vodotoka, broj vodotoka trebao biti manji. On je ispitan izradom grafova gdje je uspoređen broj tokova po redovima (Dodatak I). U svim slučajevima u ovom radu se broj tokova smanjuje sa smanjenjem reda što ukazuje da ne postoji devijacija. Grafovi u dodatku 1. prikazuju odnose između vodotoka različitih redova za svako slivno područje.

### 5.1 Morfološke karakteristike slivnih područja

Morfološke karakteristike slivnih područja su prikazane u tablici 2. Definirano je da su najveća po opsegu i površini slivna područja 9,13,18 i 20, dok su najmanja 2, 3, 5, 10 i 16. Očekivano je uočena linearnost između površine i opsega, te površine i izduljenosti slivnog područja (Dodatak II)

Tablica 2. Opis osnovnih parametara slivnih područja

Slivno područje	Površina(km <sup>2</sup> )	Opseg (km)	Lb(km)
1	25.32	34.59	7.08
2	7.86	19.27	7.01
3	5.50	18.39	6.42
4	11.61	21.46	7.34
5	7.81	18.02	6.87
6	14.68	32.98	9.50
7	43.61	56	20.95
8	15.12	35.16	14.15
9	159.12	94.76	27.82
10	3.55	11.72	3.91
11	59.32	67.83	23.64
12	13.45	25.68	8.46
13	180.34	144.52	24.51
14	13.84	30.89	9.34
15	31.07	46.11	11.97
16	4.27	13.85	5.12
17	38.9	50.22	11.64
18	133.79	112.43	39.44
19	75.21	60.95	19.76
20	107.17	79.4	28.67
21	41.23	45.84	10.26

### 5.1.1 Geomorfološki indeksi asocirani sa reljefnom strukturom slivnih područja

Geomorfološki indeksi asocirani sa reljefnom strukturom su prikazani u tablici 3. Slivna područja imaju generalno visoke vrijednosti energije reljefa. Najviše vrijednosti imaju slivna područja 5, 6, 13, 18 i 20 što ukazuje na brdovit teren uz obalu i otporne stijene, dok najniže vrijednosti imaju područja 1,10, 12, 14 i 16 što ukazuje na zaravnjenija područja sa manje otpornim stijenama (Sudheer 1986; Sreedevi 1999; Mesa, 2006)

Tablica 3. Prikaz parametara asociranih sa reljefnom strukturom

Slivno područje	Energija reljefa(m)	Omjer reljefa (Rr)
1	724	0.1021
2	806	0.1149
3	888	0.1383
4	1246	0.1696
5	1319	0.1917
6	1379	0.1450
7	1258	0.0600
8	1198	0.0846
9	1238	0.0444
10	667	0.1702
11	938	0.0396
12	495	0.0584
13	1484	0.0605
14	456	0.0488
15	807	0.0674
16	603	0.1177
17	1096	0.0941
18	1412	0.0358
19	1113	0.0563
20	1367	0.0476
21	923	0.0899

### 5.1.2 Morfološki indeksi asocirani sa karakteristikama drenažne mreže

Indeksi asocirani sa karakteristikama drenažne mreže su prikazani u tablici 4. Ovi podaci pružaju informacije o drenažnom trendu i je li on pod utjecajem tektonskih struktura. Analiza prvog Hortonovog zakona koji definira da bi se povećanjem reda tokova trebao smanjivati broj tokova, pokazala je da su sva slivna područja u skladu s njim. Sva slivna područja pokazuju relativno niske Dd i Fu vrijednosti. Niske vrijednosti Dd ukazuju na rijetku



drenažnu mrežu (Strahler, 1964., Sreedevi, 2009) što je i očekivano zbog iznimno propusnog krškog terena i visokog stupnja infiltracije, što dokazuju i niske vrijednosti  $F_u$ . Rb vrijednosti su najniže u područjima 1, 3 i 16 što ukazuje na dominantnu kontrolu geoloških struktura pri oblikovanju slivnih područja (Reddy i dr., 2004), dok su najviše vrijednosti u područjima 7, 11 i 13. Područje 8 ima iznimno visoku vrijednost, no pretpostavka je da je razlog tome izduženost područja te samo jedan dugački vodotok drugog reda u kojeg se ulijevaju tokovi prvog reda. Omjer drenažne gustoće i frekvencije vodotoka su linearne (Dodatak II)

Tablica 4. Prikaz parametara asociranih sa karakteristikama drenažne mreže

Slivno područje	Frekvencija vodotoka ( $F_u$ )	Drenažna gustoća ( $D_d$ )	Ukupni broj tokova ( $N$ )	Ukupna duljina tokova ( $L$ ) (km)	Omjer bifurkacije ( $R_b$ )
1	1.3031	2.2571	33	57.16	2.82
2	1.6532	1.4891	13	11.71	3
3	1.4532	1.4914	8	8.21	2.25
4	1.1191	1.3429	13	15.6	3
5	1.6642	1.4210	13	11.1	3
6	1.2260	1.7437	18	25.6	3.63
7	1.1692	1.6644	51	72.56	3.65
8	0.7935	1.5804	12	23.9	11
9	1.4139	1.8614	225	296.2	3.45
10	1.4077	1.7625	5	6.26	4
11	1.0957	1.9234	65	114.1	3.58
12	1.0402	1.7803	14	23.96	3.16
13	1.0812	1.6746	195	302	3.67
14	1.0835	1.6758	15	23.2	4
15	1.0942	1.6091	34	50	3.05
16	1.6371	1.6839	7	7.2	2
17	1.2080	1.6218	47	63.1	3.16
18	1.0763	1.4799	144	198	3.38
19	1.0103	1.6884	76	127	3.81
20	1.0169	1.6327	109	175	4.4
21	1.0912	1.6998	45	70.1	3.26

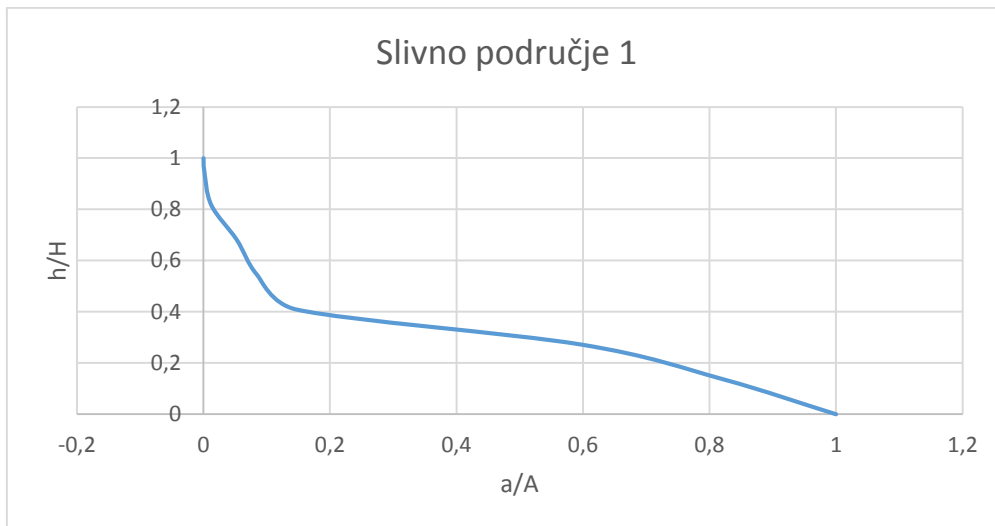
### 5.1.3 Geomorfološki indeksi asocirani sa aspektima slivnih područja prema obliku i regionalnom nagibu

Indeksi asocirani sa aspektima slivnih područja su prikazani u tablici 5. Geomorfološki indeksi u tablici su karakterizirani geometrijom i oblikom slivnih područja, izdužena slivna područja upućuju na tektonsku kontrolu koja utječe na njihov razvoj. Kvantitativna evaluacija asimetrije slivnog područja može poslužiti za usporedbu sa ostalim indeksima kako bi se ustanovila slivna područja gdje je tektonska aktivnost viša.

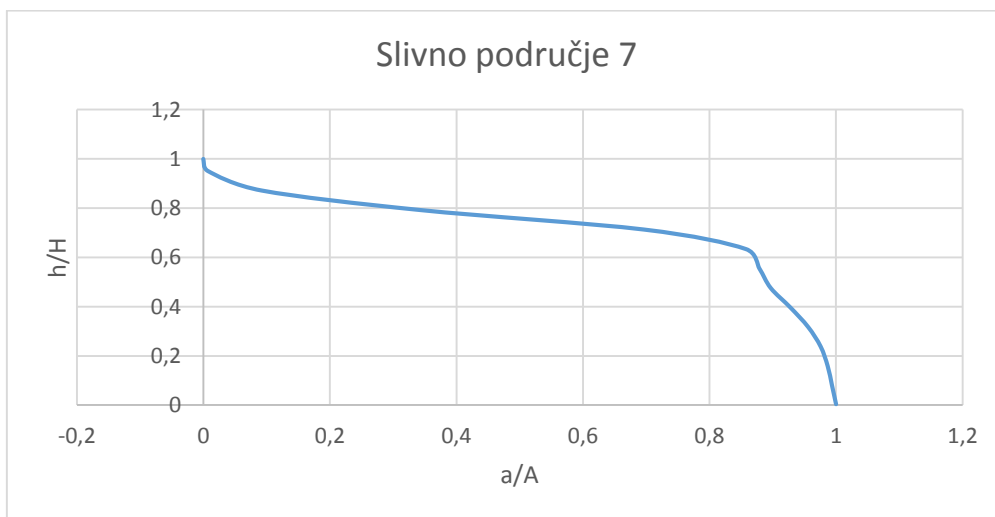
Tablica 5. Prikaz parametara asociranih sa aspektima slivnih područja

Slivno područje	Hipsometrijski integral (HI)	Indeks oblika (Bs)	Omjer forme(Rf)	Omjer izduženja (Re)	Cirkularnost slivnog područja (Rc)	Faktor asimetrije (AF)	AF-50
1	0.297	0.869	0.504	0.800	0.265	48.314	1.685
2	0.565	1.197	0.159	0.451	0.265	66.032	16
3	0.671	2.39	0.133	0.412	0.204	75.807	25.8
4	0.463	2.039	0.215	0.523	0.316	51.885	1.885
5	0.447	1.856	0.165	0.458	0.302	59.545	9.545
6	0.552	1.991	0.162	0.454	0.169	17.581	32.418
7	0.718	3.767	0.01	0.355	0.174	55.019	5.02
8	0.591	3.081	0.075	0.309	0.153	50.668	0.668
9	0.429	1.404	0.2	0.511	0.222	52.788	2.788
10	0.3	2.176	0.231	0.542	0.324	32.708	17.29
11	0.518	2.038	0.106	0.367	0.162	53.810	3.81
12	0.568	2.333	0.187	0.488	0.256	19.819	30.18
13	0.468	0.882	0.3	0.617	0.108	43.219	6.78
14	0.513	1.89	0.158	0.449	0.182	25.860	24.14
15	0.423	1.781	0.216	0.525	0.183	44.098	5.9
16	0.457	1.776	0.162	0.455	0.279	51.218	1.218
17	0.624	1.239	0.287	0.604	0.193	39.479	10.520
18	0.614	1.556	0.086	0.330	0.133	23.820	26.179
19	0.467	1.555	0.192	0.494	0.254	16.813	33.186
20	0.613	1.978	0.131	0.407	0.213	39.790	10.209
21	0.404	1.537	0.391	0.627	0.246	8.217	41.782

Najviše vrijednosti hipsometrijskog integrala nalazimo u slivnim područjima 3, 7, 17, 18 i 20 što ukazuje da su ta slivna područja starija, niskog reljefa i snažnije erozije, dok najniže vrijednosti imaju slivna područja 1, 9, 10, 15, 16, 19, 21 što ukazuje da su ta slivna područja mlada, sa dubokim usijecanjem i blagom erozijom te snažnijom tektonikom (Keller i Pinter, 2002; Hamdouni i dr., 2008) Na slici 17. i 18. su prikazane hipsometrijske krivulje slivnih područja 1 i 7. Izrađene su hipsometrijske krivulje za sva slivna područja (Dodatak III).



Slika 17. Hipsometrijska krivulja slivnog područja 1 (najniži hipsometrijski integral)



Slika 18. Hipsometrijska krivulja slivnog područja 7 (najviši hipsometrijski integral)

Najviše vrijednosti indeksa oblika slivnog područja ( $B_s$ ) nalazimo u slivnim područjima 7, 8 i 12 što ukazuje na izduljenost tih slivnih područja i moguću tektonsku aktivnost u njima, dok najniže vrijednosti nalazimo u slivnim područjima 1, 13 i 17 što ukazuje na zaobljenija slivna područja sa slabijom tektonskom aktivnošću (Bull i McFadden, 1977; Hamdouni i dr., 2008).

Najviše vrijednosti omjera forme nalazimo u područjima 1, 13, 17, 21 što karakterizira područja s visokim bočnim dotokom i slabijim glavnim tokom i dominaciju endogenih procesa, dok najniže vrijednosti u područjima 7, 8, 11 i 18 ukazuju na manji broj bočnih dotoka i snažniji glavni tok (Reddy i dr., 2004).

Više vrijednosti omjera izduljenosti ( $R_e$ ) pronalazimo u slivnim područjima 1, 13, 17 i 21 što ukazuje na zaobljenost tih slivnih područja, najniže vrijednosti su zabilježene u područjima 7,

8, 11 i 18 što ukazuje na izduženija slivna područja i ukazuju na tektonsku aktivnost pri oblikovanju (Kale i Shejwalker, 2008).

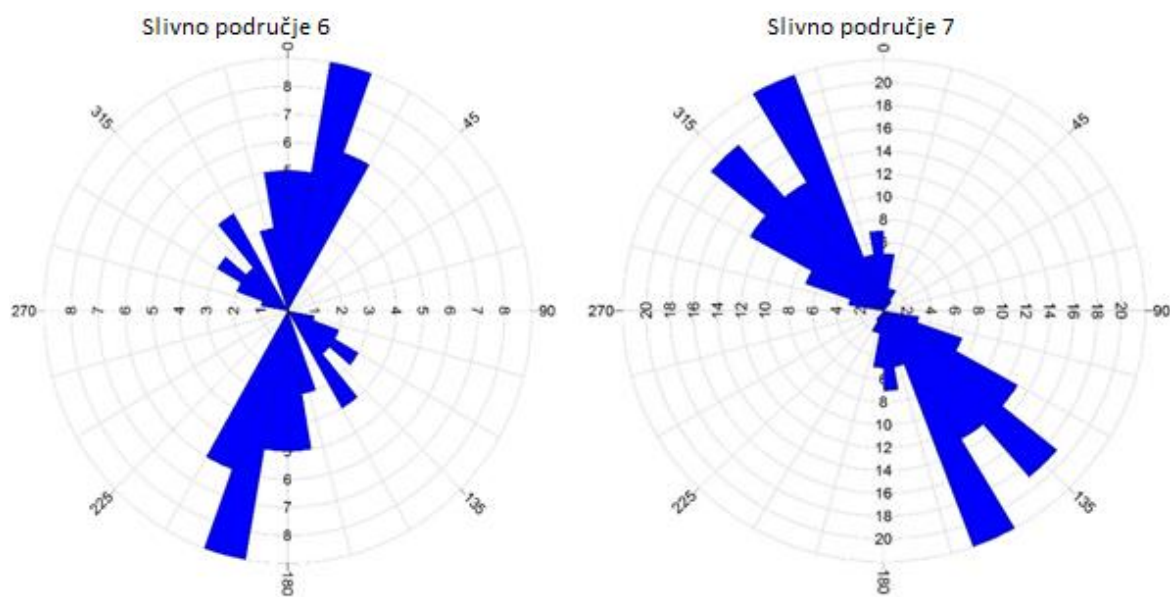
Najviše vrijednosti zaobljenosti slivnog područja ( $R_c$ ) nalazimo u područjima 4, 5, 10, dok najniže imaju područja 6, 7, 8, 11 i 18 što ukazuje na njihov oblik. Područja sa nižom vrijednosti su izduženija i to je indikator tektonske aktivnosti (Sreedevi, 2005; Mesa, 2006).

Vrijednosti faktora asimetrije (AF) pokazuju nagibe slivnog područja, vrijednosti veće od 50 % naginju na lijevo, dok vrijednosti ispod 50% naginju na desno. Što je odstupanje od vrijednosti 50 % veće, to je faktor veći, samim time i potencijalna tektonska aktivnost (Hamdouni, 2008) Najniže vrijednosti faktora asimetrije imaju slivna područja 1, 8 i 16 dok najviše vrijednosti imaju područja 6, 19 i 21 te sva naginju na lijevo.

U dodatku 3. se nalaze kartografski prikazi rezultata analize slivnih područja

#### 5.1.4 Analiza rezultata lineamenata

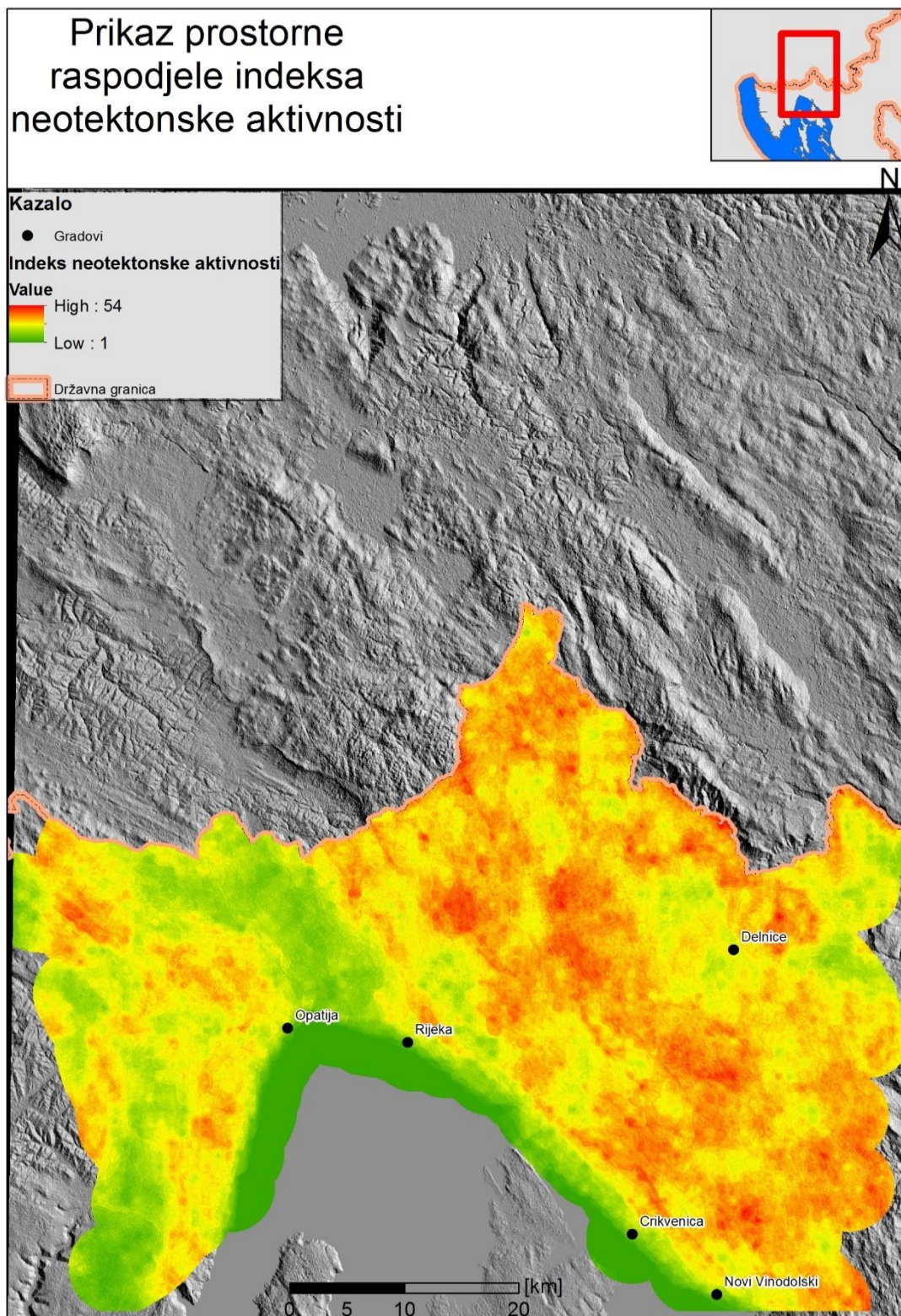
Orijentacije lineamenata su očekivano pretežito orijentacije SZ-JI, osim u slivnim područjima 1, 2, 3, 4, i 6 koja pripadaju masivu Učka, te prelaskom u slivno područje 7 orijentacija postaje SZ-JI (Dodatak IV). Na slici 19. su prikazani ružini dijagrami za slivna područja 6 i 7 na kojima se vidi promjena orijentacije. Oznake u kružnici označuju broj lineamenata koji su jednake orijentacije, dok je orijentacija prikazana u vanjskom dijelu kružnicu u stupnjevima.



Slika 19. Prikaz rozetinih dijagrama za slivna područja 6 i 7

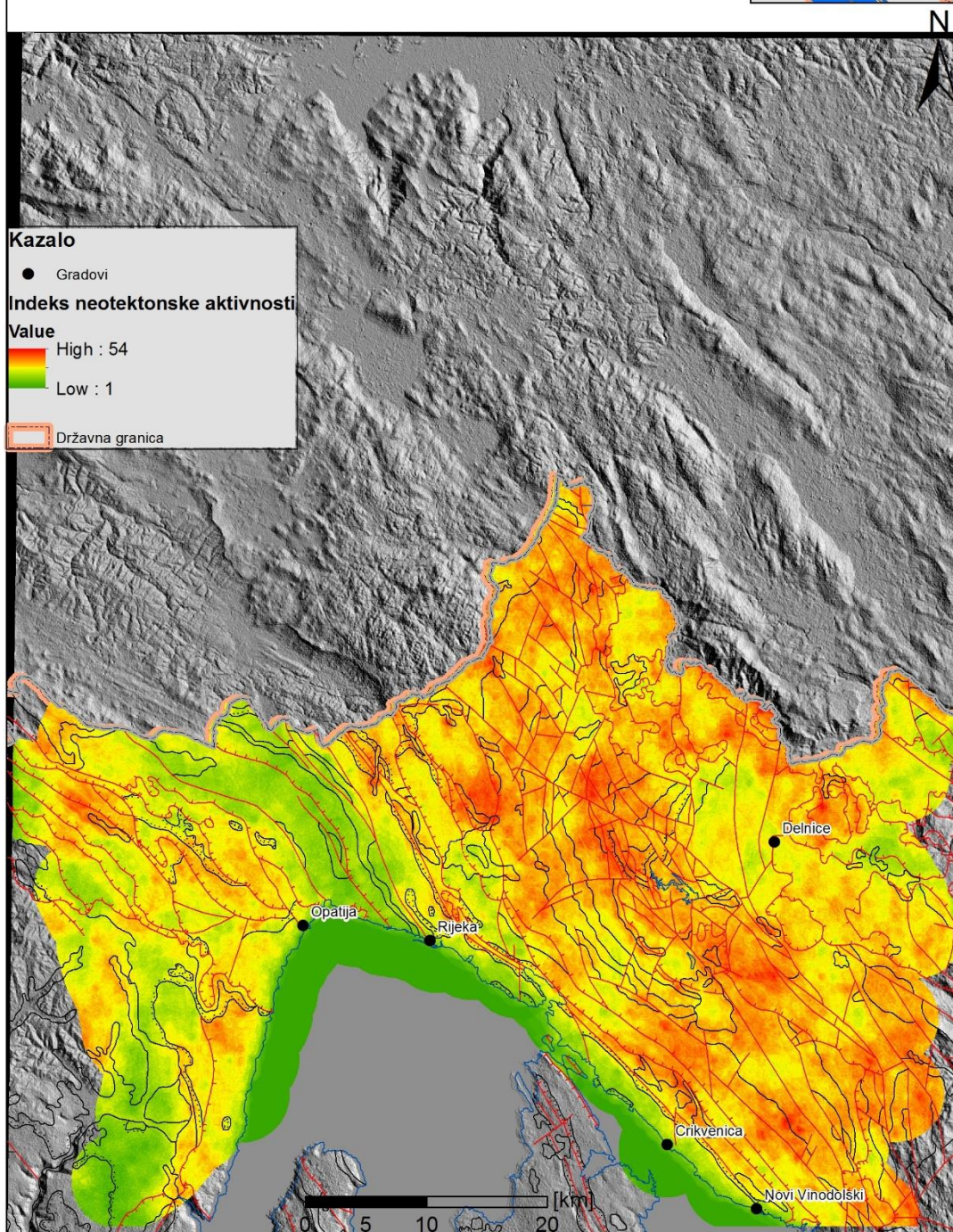
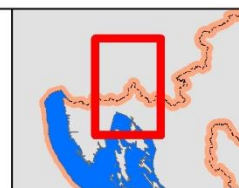
## 5.2 Analiza na lokalnoj razini

Za analizu na lokalnoj razini su izrađene faktorske karte frekvencija lineamenata, gustoće lineamenata, indeksa gradijenta nagiba toka, drenažne gustoće, frekvencije vodotoka, nagiba terena, litologije i energije reljefa (Dodatak V) koje prikazuju prostornu raspodjelu faktora navedenih u Tablici 1. te su iste faktorske karte reklasificirane u klase koje je definirao Argyriou (2014). Rezultat statističke analize faktorskih karata i težinskih koeficijenata je prikaz neotektonske aktivnosti (Slika 20) koja je i uspoređena s prostornom raspodjelom geoloških struktura izvađenih iz pregledne geološke karte 1:300 000 (HGI, 2009) (Slika 21) i izvatom iz kataloga potresa (Slika 21). U navedenim prikazima se može primijetiti kako visoke vrijednosti indeksa neotektonske aktivnosti predstavljaju područja sa velikim brojem rasjeda, te se podudaraju sa područjem pojasa Vanjskih Dinarida (Placer i dr., 2010).

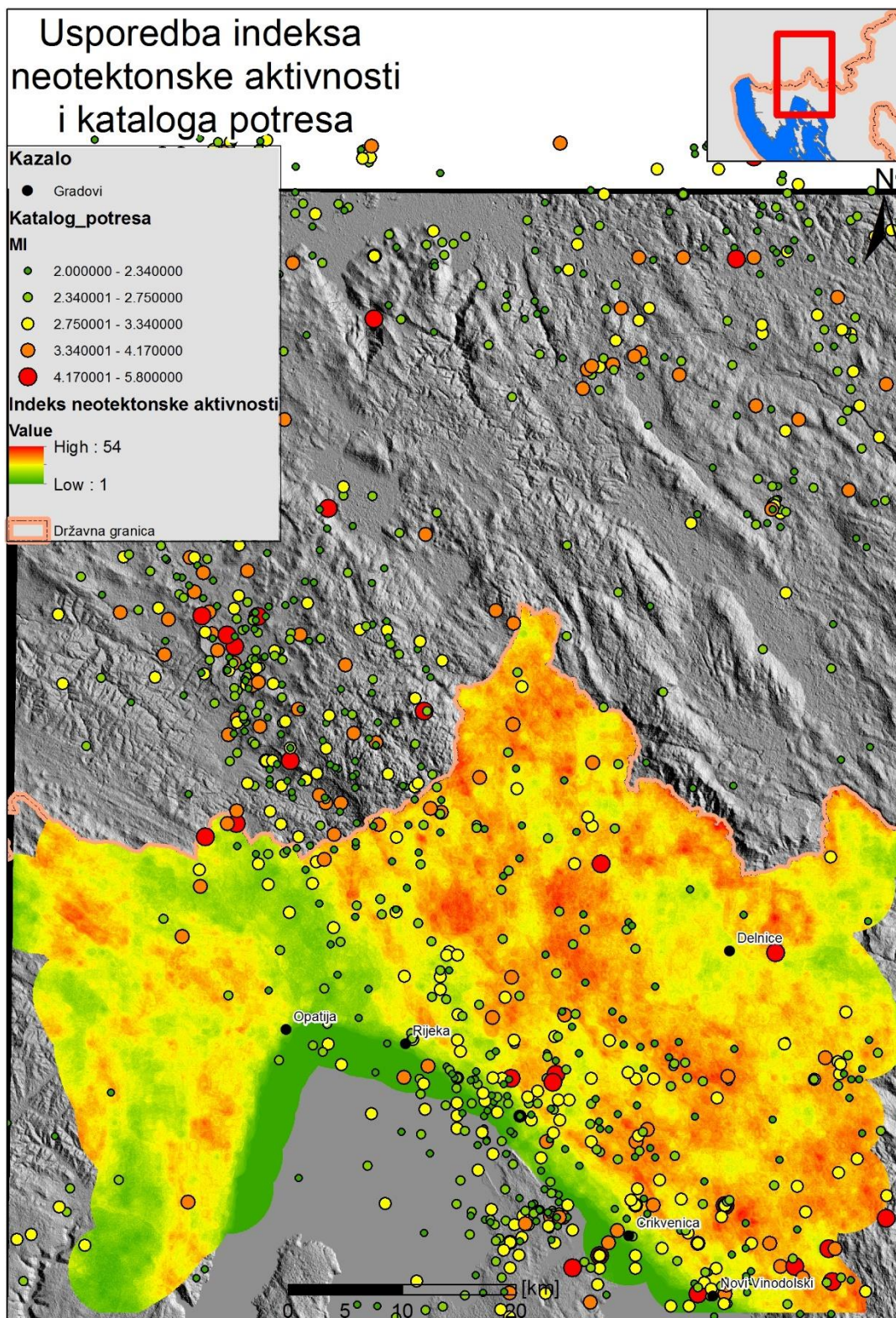


Slika 20. Prikaz indeksa neotektonske aktivnosti

# Prikaz prostorne raspodjele indeksa neotektonske aktivnosti



Slika 21. Prikaz indeksa neotektonske aktivnosti sa geološkim strukturama iz pregledne geološke karte 1:300 000 (HGI, 2009)



Slika 22. Usporedba indeksa neotektonske aktivnosti i izvataka iz kataloga potresa



## 6. Diskusija

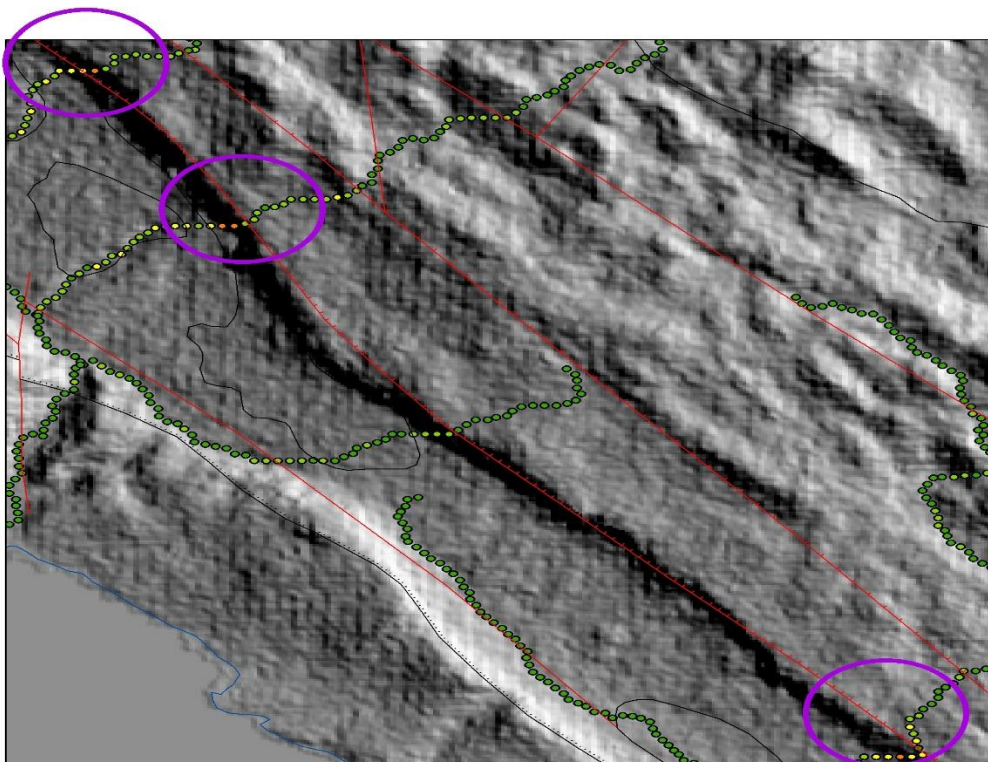
U ovom radu su računalno delineirana slivna područja i vodotoci na području Kvarnera, te su se lokacije delineiranih vodotoka pokazale preciznima na područjima gdje postoje površinski tokovi s kojima su se delineirani vodotoci mogli usporediti. Dio izračunatih indeksa se temelji na karakteristikama vodotoka, a kako se radi o krškom području veliki broj automatski delineiranih vodotoka ne postoje kao površinski tokovi što može otežati ocjenu točnosti pojedinih izračunatih indeksa. Lokacije automatski delineiranih vodotoka koji se delineiraju na temelju digitalnog modela reljefa predstavljaju kretanje potencijalne površinske vode te kao takvi mogu pomoći pri lociranju ponora i podzemnih krških objekata.

Izračunati indeksi su se pokazali korisnima u definiranju tektonike Kvarnera na regionalnoj razini. Prema izračunatim indeksima slivnih područja najveću tektonsku aktivnost očekujemo u slivnim područjima 6, 11, 18, 19 i 21. Područja 18, 19 i 21 se nalaze u području Vinodola koje je jedno od seizmički najaktivnijih područja u Republici Hrvatskoj (Prelogović i dr., 1981), što pokazuje i katalog potresa (Slika 22). Od izračunatih indeksa na razini slivnih područja su se kao najbolji indikatori tektonski aktivnih područja pokazali faktor asimetrije (AF), hipsometrijski integral (HI) i indeks oblika (Bs).

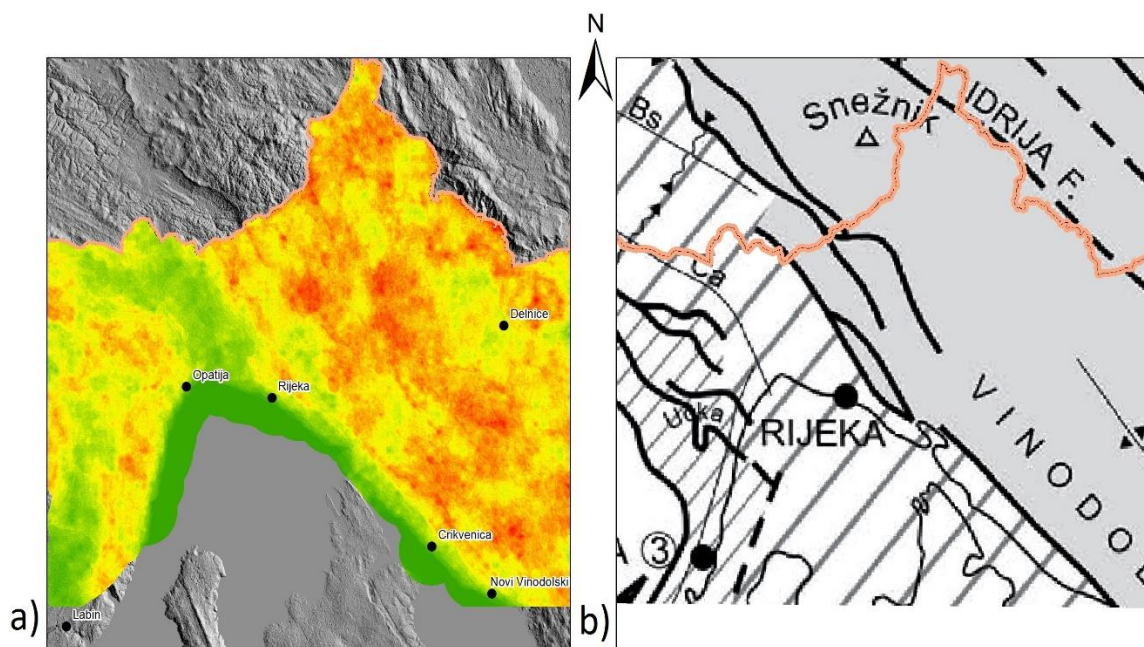
Korištena metoda automatske ekstrakcije lineamenta se također pokazalo uspješnom te je prikazala dio geoloških struktura prisutnih na ovom području, što se vidi iz rozetinih dijagrama koji uglavnom ukazuju na dominantnu orijentaciju SZ-JI. Naročito je značajno da su sve te informacije sadržane u bazi podataka, ta kao takvi mogu poslužiti u daljnjim istraživanjima koja se tiču slične problematike, mogu se koristiti za analize poplava, raznih tipova geoloških hazarda, dok automatsko kartiranje lineamenta nalazi svrhu u eksploataciji mineralnih sirovina. Indeks gradijenta nagiba glavnog toka (Dodatak VI) pokazuje prisutnost viših vrijednosti koje koincidiraju sa lokacijama zabilježenih geoloških struktura u preglednoj geološkoj karti 1:300 000 (HGI, 2009) (Slika 23).

Indeks neotektonske aktivnosti je uspješno prikazao prisutnost većih geoloških struktura unutar područja istraživanja, te se po njemu jasno vide zone tektonske aktivnosti, gledajući sa zapada na istok jasno se nazire Čićarija koja nakon Učke mijenja orijentaciju prema SZ-JI dok lineamenti Učke imaju orijentaciju JZ-SI. Istočnije se ističe seizmotektonsko područje Vinodol koje se isticalo i u analizi na razini slivnih područja, te katalog potresa najveću aktivnost bilježi

upravo na ovom području. Na slici 24. vidimo kako je indeks uspješno registrirao razliku između pojaseva Dinarida na području Kvarnera.



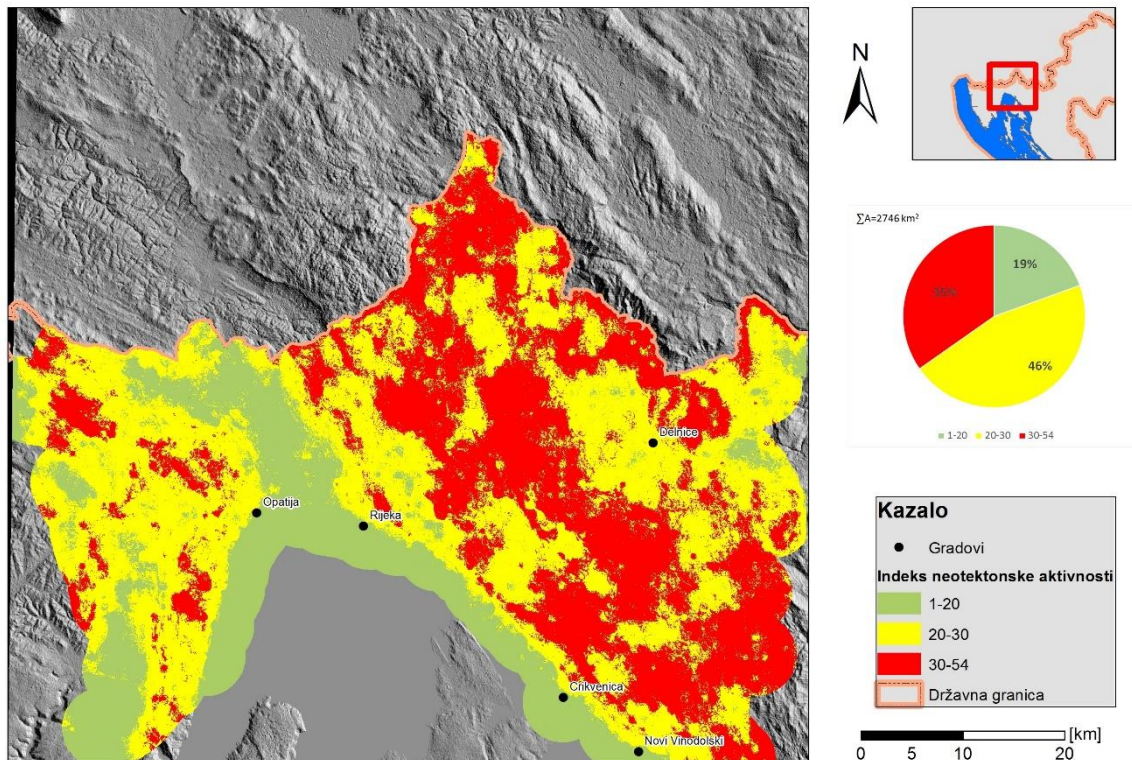
Slika 23. Prikaz poklapanja SL indeksa i strukturnih oblika iz pregledne geološke karte 1:300 000 (HGI, 2009)



Slika 24. a) indeks neotektonske aktivnosti b) Prikaz granice primorskog i središnjeg pojasa Dinarida (Placer, 2010)

Ovaj način istraživanja može biti koristan ponajviše kao priprema za terenska istraživanja gdje nemamo informacija o strukturama. Uporabom multispektralnih snimaka, te širenjem područja istraživanja možemo dobiti još više informacija o području istraživanja.

Uporabom indeksa neotektonske aktivnosti je obrađeno 2746km<sup>2</sup> te je raspon vrijednosti podijeljen u 3 kategorije, 1-20 (niska), 20-30 (srednja) i 30-54 (visoka) te je izračunato da je 19% područja pod niskom tektonskom aktivnošću, 46% pod srednjom i 35% pod snažnijom aktivnošću (Slika 25).



Slika 25. Prikaz klasifikacije indeksa neotektonske aktivnosti

## 7. Zaključak

Metodologija istraživanja tektonske aktivnosti u ovom radu se pokazala djelomično uspješnom. Za ovaj pristup analizi tektonike nužno je uskladiti dio morfometrijskih parametara geološkoj građi terena, dok parametri poput hipsometrijskog integrala i krivulje su standardni za bilo koji tip terena. Analizom geomorfoloških indeksa slivnih područja procijenjeno je da je slivno područje 21 tektonski najaktivnije. Ono se nalazi u vinodolskoj zoni u kojoj i katalog potresa prikazuje najviše tektonske aktivnosti. Na razini slivnih područja se najbolje rezultate postiže izračunom hipsometrijskog integrala, faktora asimetrije i raznih faktora koji se odnose na izduljenost slivnog područja. Indeks neotektonske aktivnosti koji se generirao u ovom radu može prikazati regionalnu tektonsku aktivnost nekog područja, te se na ovom području pokazao točnim u usporedbi sa postojećim istraživanjima i prepoznao je različite pojaseve Vanjskih Dinarida te su vidna preklapanja indeksa sa katalogom potresa. Lomovi na lineamentima između slivnih područja 6 i 7 mogu indicirati na prisutnost više tektonskih faza. Za dobivanje boljih rezultata potrebni su bolji ulazni podaci, koji bi se mogli koristiti u ovoj metodologiji rada jer ASTER DMR koji je javno dostupan ima prostornu rezoluciju od 25 metara. Lidar snimke sa visokom točnosti bi se mogle koristiti u ovakvom tipu istraživanja, te ako usporedimo rezoluciju ASTER DMR-a i Lidara, gdje Lidar ima 25 puta veću rezoluciju, za očekivati je bolje i točnije rezultate. Provedbom ovih analiza se može dobiti puno informacija o terenu, od slivnih područja te njihovih karakteristika, lokacija i karakteristika vodotoka, do prikaza tektonske aktivnosti i tektonskog režima područja, te takve informacije mogu biti od iznimne važnosti kada se radi o neistraženim područjima gdje bi ovakav tip pripremne analize olakšao terenska istraživanja te moguće smanjila trajanje i cijenu istih. Dobiveni rezultati i indeksi se također mogu koristiti u raznim analizama različitog tipa što je također jedna od boljih strana ovakvog tipa rada, jer strukturiranjem prostornih relacijskih baza podataka sa ovakvim podacima možemo sve te podatke imati lako dostupne i spremne za razne analize u kojima se koriste isti faktori uz neke druge te ne gubimo vrijeme na izračune velikog broja faktora.

## 8. Literatura

Abrahams A.D. (1984): Channel networks: A geomorphological perspective. *Water resources research*, 20:161-88.

Al-Sulaimi J., Khalaf F. J., Mukhopadhyay A. (1997): Geomorphological analysis of paleo drainage systems and their environmental implications in the desert of Kuwait. *Environmental Geology* 29 (1/2) January 1997 - @ Springer-Verlag, pp 94-111

Alastair J. H. Clement, Martin S. Brook (2008): Tilting of active folds and drainage asymmetry on the Manawatu Anticlines, New Zealand: a preliminary investigation. *Earth Surface Processes and Landforms*

Argyriou, A. (2014): A methodology for the Rapid Identification of Neotectonic Features using GIS and Remote Sensing: A case study from Western Crete, Greece

Bartels S., VanRooyen M. (2011): Medical complications associated with earthquakes. (Published Online: 04 November 2011), *The Lancet*, Volume 379, Issue 9817, Pages 748 - 757, 25 February 2012

Blašković, I., Aljinović, B (1981): Mikrotektonski elementi kao osnova za model tektonske građe šireg područja Kvarnera. *Kompleksna naftno-geološka problematika podmorja i priobalnih djelova Jadranskog mora, Split, Zbornik radova (Proceedings)*, 87-100, Zagreb

Blašković, I. (1998): Raspored uzdužnih, reversnih i normalnih rasjeda i konstrukcija oblika u dubina ploha podvlačenja. *Geol vjesnik (Zagreb)* 44:247-256

Blašković, I. (1998): The two stages of Structural Formation of the Coastal Belt of the External Dinerides. *Geol. Croat. (Zagreb)* 52/2: 153-189

Blašković, I.(1999): Tectonics of Part of the Vinodol Valley within the Model of the Continental Subductio. *Geol. Croat* 52/2: 153-189

Bull, W., McFadden, L. (1977): Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed), *Geomorphology in Arid regions*. Publications in Geomorphology, State University of New York at Binghamton, pp. 115–139.

Burbank D.W., Anderson R.S (2001): *Tectonic geomorphology*. Blackwell Science, Malden, Massachusetts, p 274.

- Campbell, J.B (2002): Introduction to remote sensing 3rd ed., The Guilford Press
- Cannon P.J. (1976): Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes* 36 (1), 3–16.
- Chow Ven T. (1964): Handbook of applied hydrology. McGraw Hill Inc, New York and Remote Sensing 67, pp 491–497.
- Chopra R., Deep Dhiman R., Sharma P. K. (2005): Morphometric analysis of sub-watersheds in Gurdaspur district, Punjab using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Volume 33, Number 4 (2005), pp 531-539.
- Cuong N. Q., Zuchiewicz W. A. (2001): Morphotectonic properties of the Lo River Fault near Tam Dao in North Vietnam. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2001) 1: 15–22, European Geophysical Society 2001.
- Gardner T.W, Back W., Bullard T.F, Hare P.W., Kesel R.H., Lowe D.R., Menges C.M., Mora S.C, Pazzaglia F.J, Sasowski I.D, Troester J.W., Wells S.G. (1987): Central America and the Caribbean. In W.L. Graf (ed), *Geomorphic Systems of North America*, Centennial Special Volume 2. Boulder, CO: Geological Society of America, pp 343-402.
- Gregory, K.J., Walling, D.E. (1973): *Drainage Basin Form and Process*. Edward Arnold, London, 456pp.
- Hack J. (1973): Stream profile analysis and stream gradient index, *U. S. Geol. Surv. J. Res.* 1, 421 – 429.
- Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A. (2008): Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology* 96, 150–173.
- Herak M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinares. *Acta geologica* 16/1, *Prirodoslovna istraživanja* (Zagreb) 51: 1-42
- Horton, R.E., (1945): Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.* 56, pages 275–370.

HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT (2009): Geološka karta Republike Hrvatske M 1: 300,000, Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Zagreb.

Humphrey, N. F., Konrad, S. K. (2000): River incision or diversion in response to bedrock uplift. *Geology* 28(1), 43-46

Kale V.S., Shejwalkar N. (2008): Uplift along the western margin of the Deccan Basalt Province: is there any geomorphometric evidence? *Journal of Earth System Sciences* 117, 959–971.

Keller E.A. (1986): Investigation of active tectonics: Use of surficial earth processes. In: Wallace, R.E. (Ed), *Active Tectonics. Studies in Geophysics.* The National Academies Press, Washington, DC, pp. 136– 147.

Keller E. A., Pinter N. (2002): *Active Tectonics: Earthquakes and Landscape.* Second Edition. Prentice-Hall: Upper Saddle River, New Jersey

Kokkalas S., Doutsos T. (2001): Strain-dependent stress field and plate motions in the south-east Aegean region. *Journal of Geodynamics* 32 (2001). pp 311–332

Korbar, T. (2009): Orogenic evolution of the External Dinarides in the NEW Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy (Upper Cretaceous to Paleogene carbonates). *Earth-Science Reviews*, 96/4: 296-312

Koster E.A. (2005): *The Physical Geography of Western Europe*, ISBN 0199277753, Ch. 2: Neotectonic.

Lykoudi E., Angelaki M. (2004): The contribution of the morphometric parameters of an hydrographic network to the investigation of the neotectonic activity: An application to the upper Achelous river. *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol.XXXVI, 2004, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.

Matoš, B. (2014): Neotectonic and recently active faults in Bilogora mountain area and assesment of their seismogenic potential

Magaš, N. (1968): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1: 100.000, list Cres. Savezni geološki zavod, Beograd

Mamužić, P., Milan A., koroloiija, B., Borović, I., Majcen, Ž. (1969): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Rab (Basic geological map of Yugoslavia, sheet Rab). Savezni geološki zavod, Beograd.

Masana, E. (1994): Neotectonic features in the Catalan Coastal Ranges, northeastern Spain. *Acta Geol. Hisp.* 29, 107–121

Masoud A., Koike K (2006): Tectonic Architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM Derived Lineaments and Relationship to the Hydrogeologic Setting in Siwa Region, NW Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 45, 467477

Matičec, D. (1994): Neotectonic Deformations in Western Istria, Croatia. *Geol. Croat. (Zagreb)* 47/2: 199–204

Maxwell J.C. (1955): The Bifurcation Ratio in Horton's Law of Stream Numbers, *Trans. Am. Geophys. V.*, 34, p. 520.

Mekel J.F.M. (1970): The use of aerial photographs in geological mapping. *ITC text book of photo-interpretations*, 8, p p 1 – 169

Mervade V. (2012): *Watershed and Stream Network Delineation Using ArcHydro Tools*. Purdue University

Mesa L. M. (2006): Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucuman, Argentina). *Environ Geol* (2006) 50: 1235–1242 @ Springer-Verlag.

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*, Vol. 304, September, 2004, pp 559–589.

O'Leary (1976): Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms

Ozdemir H., Bird D. (2008): Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. *Environmental Geology*. DOI 10.1007/s00254-008-1235-y

Paraschou T. (2005): Geomorphological development of the valley of Inachou river in Fthiotida, tributary of Spercheios river. (in Greek): Thesis submitted for the Master of Science in Aristotele University of Thessaloniki.



- Pavlidis S. B. (1989): Looking for a definition of neotectonics. *Terra Nova*, Vol. 1 Issue 3, pp. 233-235
- Pedrerera A., Pérez-Peña J.V., Galindo-Zaldívar J., Azañón J.M., Azor A. (2009): Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active folding (eastern Betic Cordillera, Spain). *Geomorphology* 105 (2009), pp. 218–231.
- Placer, L. (2002): Predhodna objava rezultatov strukturnega profiliranja Kraškega roba in Istre, AC Kozina – Srmin, Sečovlje (Preliminary results of structural profiling of the Kras edge and Istria, Kozina – Srmin Motorway, Sečovlje). *Geologija (Ljubljana)* 45/1: 277–280.
- Placer, L., Košir, A., Popit, T., Šmuc, A., Juvan, (2004): The Buzet Thrust Fault in Istria and overturned carbonate megabeds in the Eocene flysch of the Dragonja Valley (Slovenia). *Geologija (Ljubljana)* 47/2: 193–198
- Placer, L. (2005): Strukturne posebnosti severne Istre (Structural curiosity of the northern Istria). *Geologija (Ljubljana)* 48/2: 245–251.
- Placer, L. (2007): Kraški rob. Geološki prerez vzdolž AC Kozina – Koper (Kraški rob (landscape term). Geologic section along the motor-way Kozina – Koper (Capodistria). *Geologija (Ljubljana)* 50/1: 29–44.
- Placer L, Vrabc, M, Celarc B (2010): The bases for understanding of the NW Dinarides and Istria Peninsula Tectonics
- Prelogović E., Blašković, I, Cvijanović D, Skoko D, Aljinović B (1981): Seizmotektonske značajke vinodolskog područja
- Ramírez-Herrera, M.T. (1998): Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 23, 317–332.
- Reddy Gangalakunta P. Obi, Maji Amal K., Gajbhiye Kothiram S. (2004): Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. R.35

International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 6  
pp.1–16.

Salvany J. M. (2004): Tilting neotectonics of the Guadiamar drainage basin,  
SW Spain. *Earth Surf. Process. Landforms* 29: 145–160.

Schumm, S. A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in badlands  
at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin* 67, 597-  
646.

Segura F.S., Pardo-Pascual J.E., Rosselló V.M., Fornós J.J., Gelabert B.  
(2007): Morphometric indices as indicators of tectonic, fluvial and karst  
processes in calcareous drainage basins, South Menorca Island, Spain. *Earth  
Surf. Process. Landforms* 32, pp. 1928–1946.

Snyder, N., Whipple, K., Tucker, G., Merritts, D. (2000): Landscape response to tectonic  
forcing: DEM analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction region, northern  
California: *Geological Society of America Bulletin*, v. 112, p. 1250–1263.

Sorensen R., Zinko U., Seibert J. (2005): On the calculation of the  
topographic wetness index: evaluation of different methods based on field  
observations. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2, 1807-  
1834.

Sougnéz N., Vanacker V. (2011): The topographic signature of Quaternary  
tectonic uplift in the Ardennes massif (Western Europe). *Hydrology and Earth  
System Sciences*, 15, pp 1095–1107.

Sreedevi P.D., Owais S., Khan H.H., Ahmed S. (2009): Morphometric  
Analysis of a watershed of South India using SRTM Data and GIS, *Journal  
Geological Society of India*, volume 73, April 2009, pp 543-552.

Sreedevi P.D., Subrahmanyam K., Ahmed S. (2005): The significance of  
morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a  
structurally controlled terrain. *Environmental Geology*, v.47(3), pp.412-420.

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

Sudheer A.S. (1986): Hydrogeology of the Upper Araniar River basin, Chittor

district, Andhra Pradesh, India. Unpublished Ph.D. Thesis, Sri Venkateswara Univ., Tirupati

Summerfield M.A. (2000): *Geomorphology and Global Tectonics*. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-97193-6

Šikić, D., Polšak, A., Magaš, N. (1969): *Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Labin* (Basic geological map of Yugoslavia, sheet Labin). Savezni geološki zavod, Beograd.

Šikić, D., Pleničar M., Šparica, M. (1972): *Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Ilirska Bistrica* (Basic geological map of Yugoslavia, sheet Ilirska Bistrica ). Savezni geološki zavod, Beograd.

Thanassoulas, C., Klentos, V. (2005): *The Aegean micro-plate as a southwestward drifting CCW rotating lithospheric vortex. The model's implications, to the spatial seismicity pattern of the Aegean area : IGME, Open File Report, Library Code No: 9907, 2005.*

Weissel, J. K., Pratson, L. F. (1994): *The length-scaling properties of topography*. *Journal of Geophysical Research* 99, 13997-14012.

## Popis grafičkih priloga

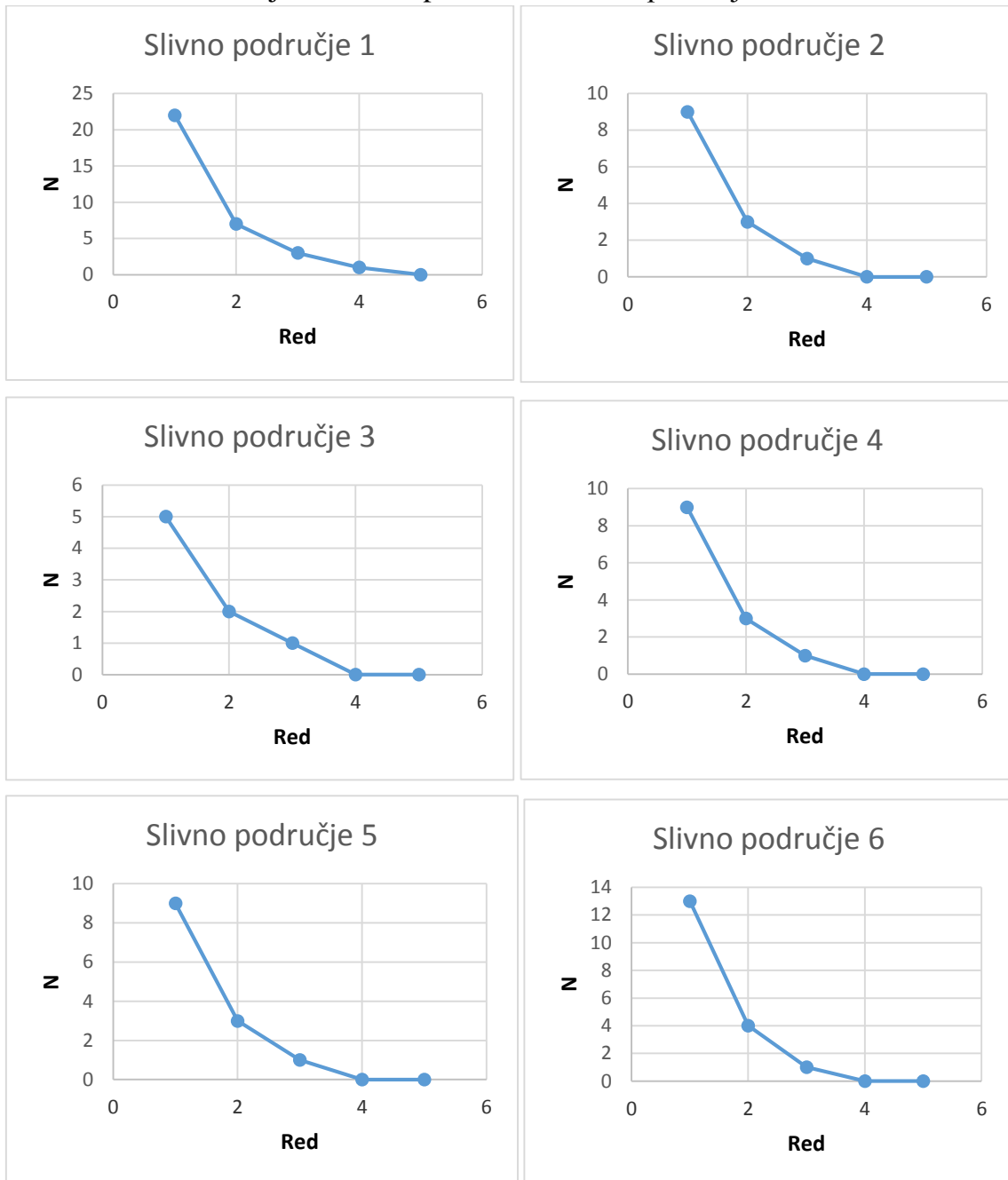
Slika 1. Reljefna karta područja istraživanja izrađena reklasifikacijom digitalnog modela reljefa i dodavanjem osjenčanog reljefa .....	5
Slika 2. Geološka karta područja (HGI, 2009) .....	6
Slika 3. Prikaz rijeke u rasterskom i vektorskom obliku (Preuzeto sa mgimond.github.io) .....	8
Slika 4. Terra satelit (Preuzeto sa www.nasa.gov) .....	8
Slika 5. UTM podjela (Preuzeto sa en.wikipedia.org) .....	10
Slika 6. Izrađeni procesni model u Model Builderu(ArcGIS).....	11
Slika 7. Flow direction funkcija, prikazane su numeričke vrijednosti smjerova kretanja toka koje nastaju iz modela reljefa.....	11
Slika 8. Flow accumulation funkcija koja kumulativno transformira vrijednosti dobivene iz Flow direction u prikaz hidrografske mreže .....	12
Slika 9. Delineirana slivna područja: a) SAGA GIS (Također prikazano u dodatku VII) , b) ArcGIS	13
Slika 10. Delineirani vodotoci a): SAGA GIS, b) ArcGIS.....	13
Slika 11. Prikaz razlike u delineaciji vodotoka uporabom a) SAGA GIS i b)ArcGIS .....	14
Slika 12. 8 različitih kutova svjetlosti u prikazu osjenčanih reljefa .....	16
Slika 13. 2 kombinirana osjenčana reljefa. a) kombinacija kutova 0, 45, 90 i 135, b)kombinacija kutova 180, 225, 270, 315 .....	16
Slika 14. Prikaz ekstrahiranih lineamenta: a) lineamenti kombinacija 0, 45, 90, 135. b) lineamenti kombinacija 180, 225, 270, 315 .....	17
Slika 15. Metodologija kvantitativne analize drenažne mreže i slivnih područja (Argyriou u, 2014) .	20
Slika 16. Prikaz funkcije Weighted Overlay .....	30
Slika 17. Hipsometrijska krivulja slivnog područja 1 (najniži hipsometrijski integral).....	36
Slika 18. Hipsometrijska krivulja slivnog područja 7 (najviši hipsometrijski integral) .....	36
Slika 19. Prikaz rozetinih dijagrama za slivna područja 6 i 7 .....	37
Slika 20. Prikaz indeksa neotektonske aktivnosti.....	39
Slika 21. Prikaz indeksa neotektonske aktivnosti sa geološkim strukturama iz pregledne geološke karte 1:300 000 (HGI, 2009) .....	40
Slika 22. Usporedba indeksa neotektonske aktivnosti i izvataka iz kataloga potresa .....	41
Slika 23. Prikaz poklapanja SL indeksa i strukturnih oblika iz pregledne geološke karte 1:300 000 (HGI, 2009) .....	43
Slika 24. a) indeks neotektonske aktivnosti b) Prikaz granice primorskog i središnjeg pojasa Dinarida (Placer, 2010) .....	43
Slika 25. Prikaz klasifikacije indeksa neotektonske aktivnosti .....	44

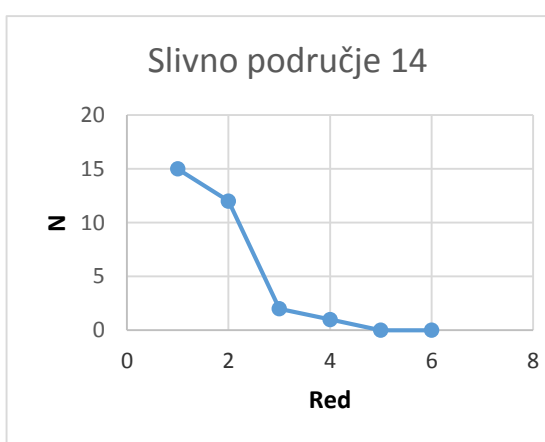
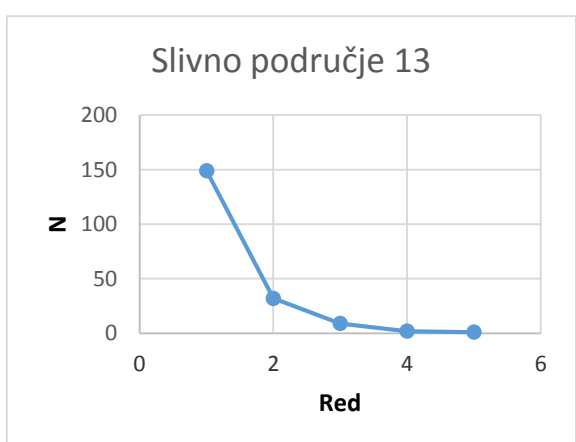
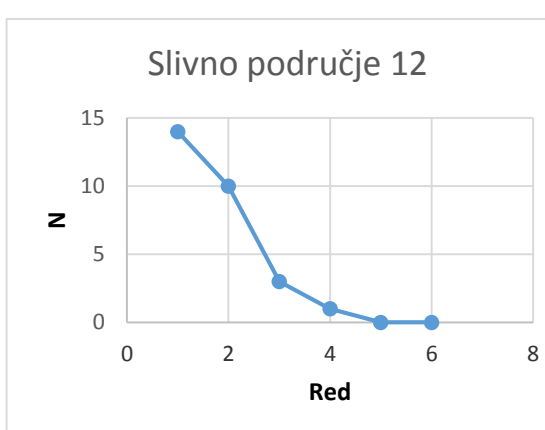
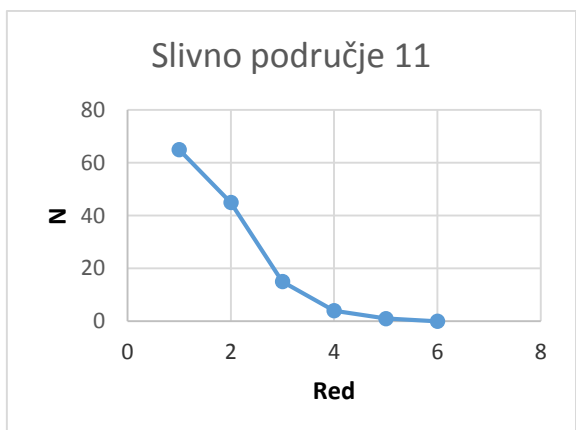
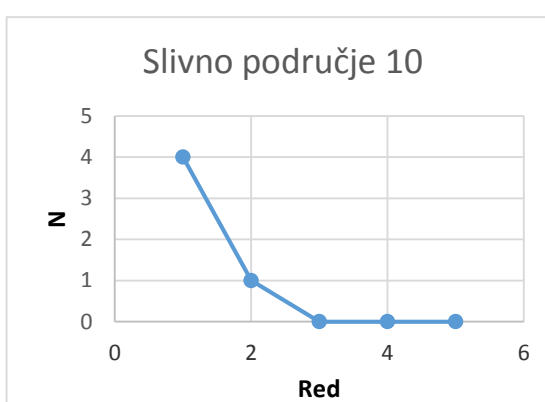
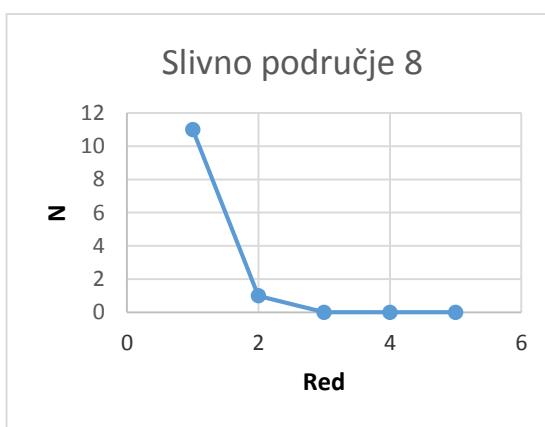
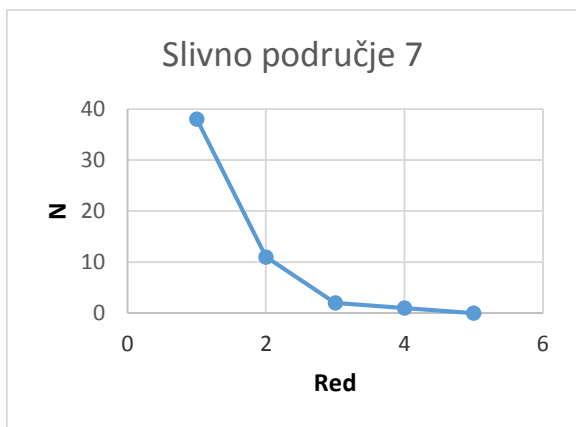
## Prikaz tablica

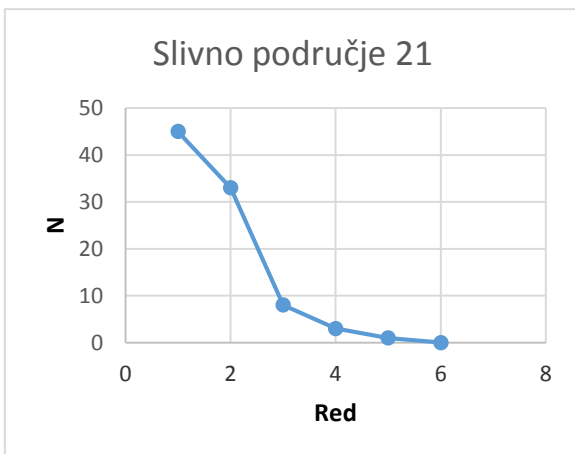
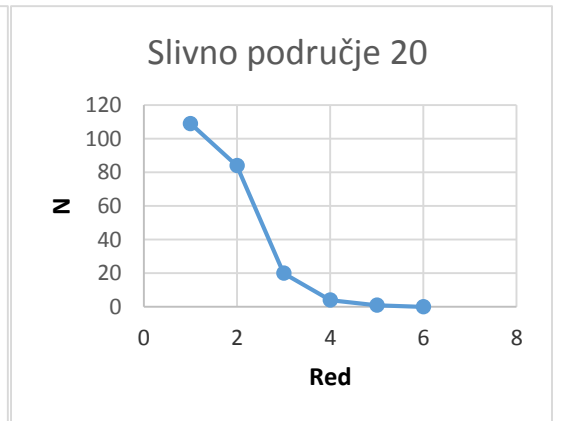
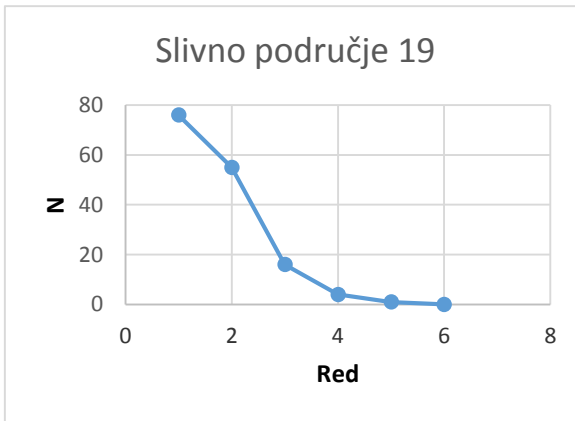
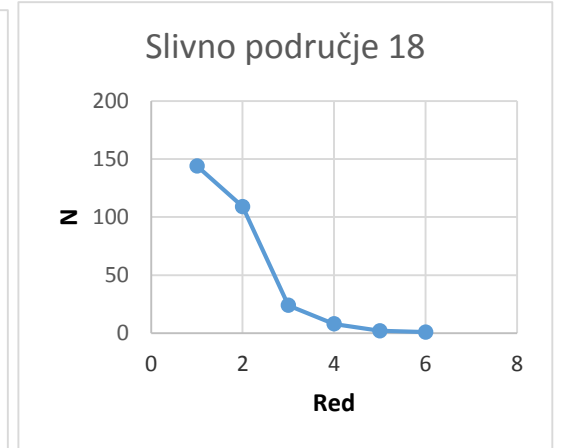
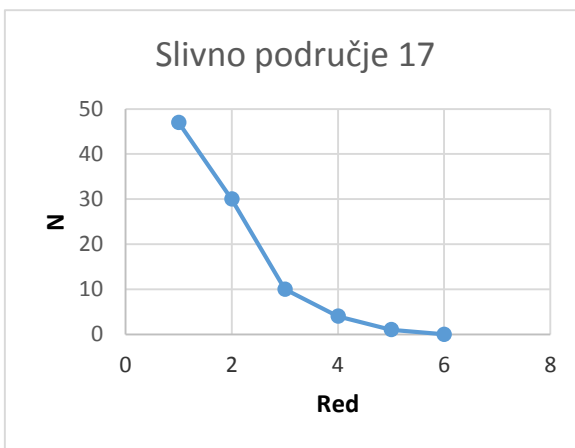
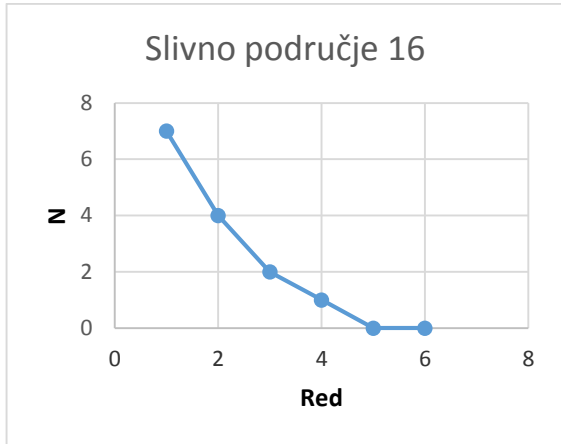
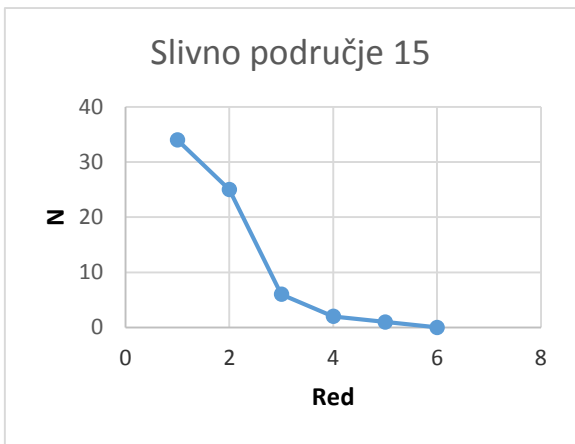
Tablica 1. Prikaz težinskih koeficijenata u računanju indeksa neotektonske aktivnosti .....	30
Tablica 2. Opis osnovnih parametara slivnih područja .....	32
Tablica 3. Prikaz parametara asociраниh sa reljefnom strukturom .....	33
Tablica 4. Prikaz parametara asociраниh sa karakteristikama drenažne mreže.....	34
Tablica 5. Prikaz parametara asociраниh sa aspektima slivnih područja .....	35

## Dodaci

### Dodatak I. Prikaz broja vodotoka po redu u slivnim područjima

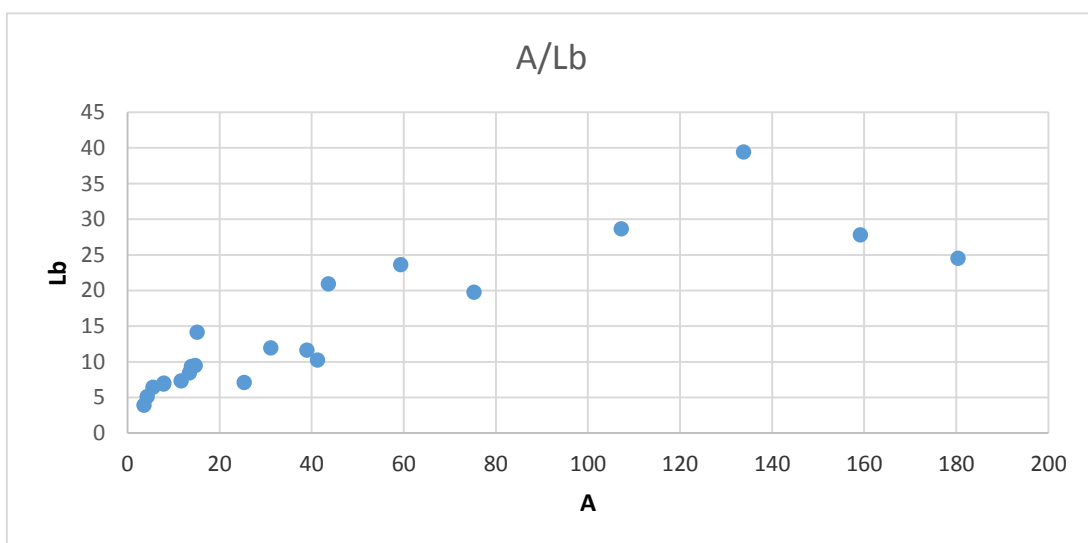
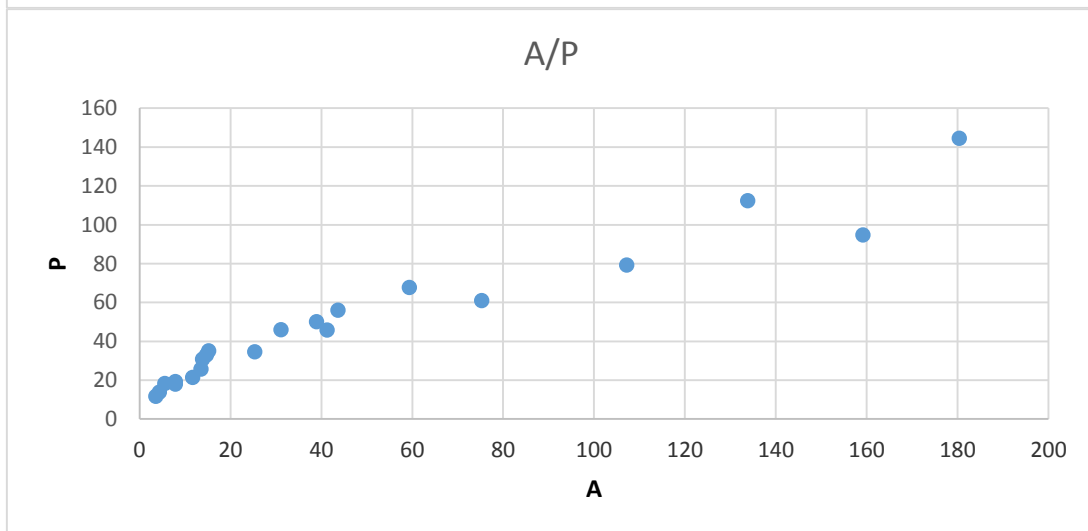
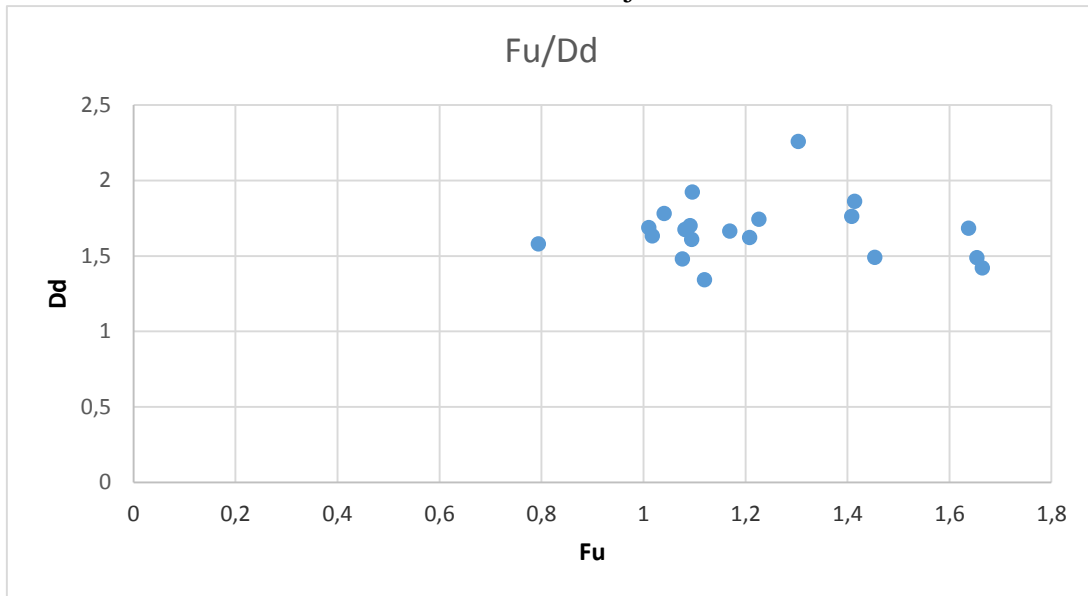


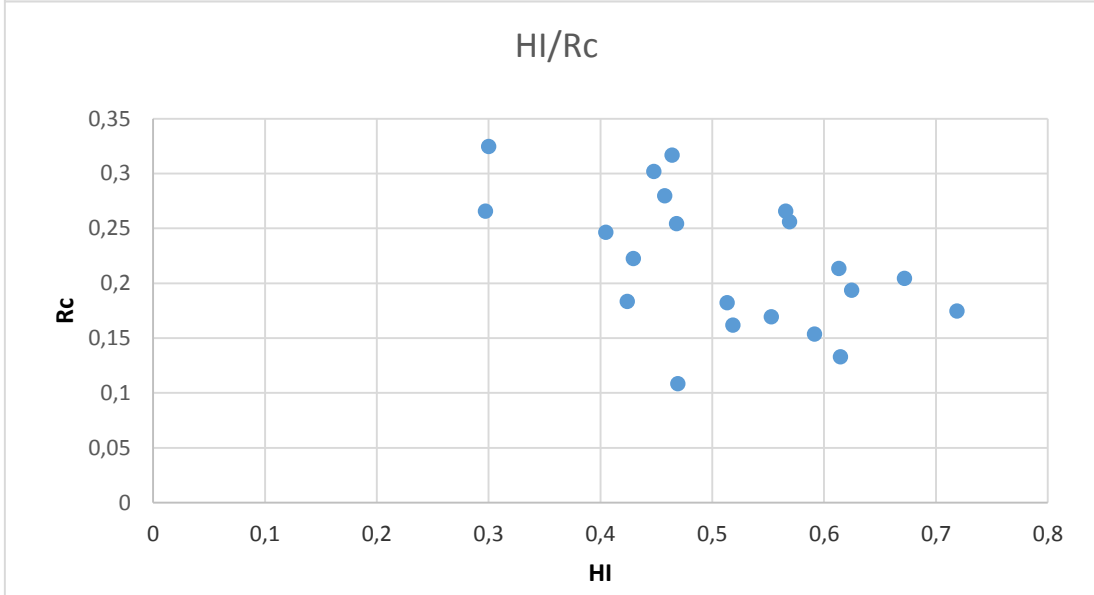
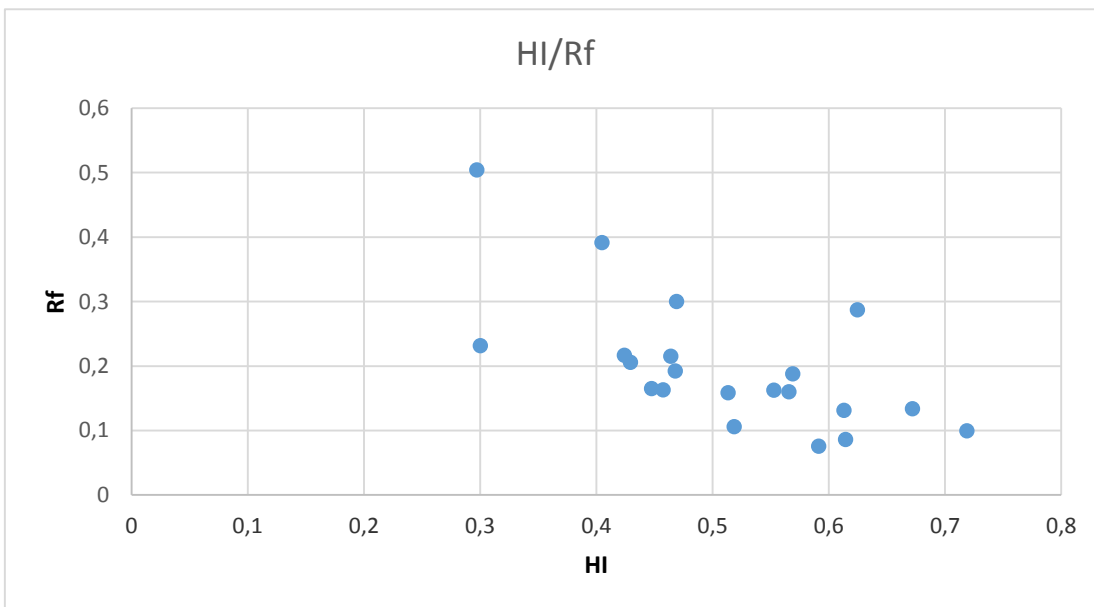
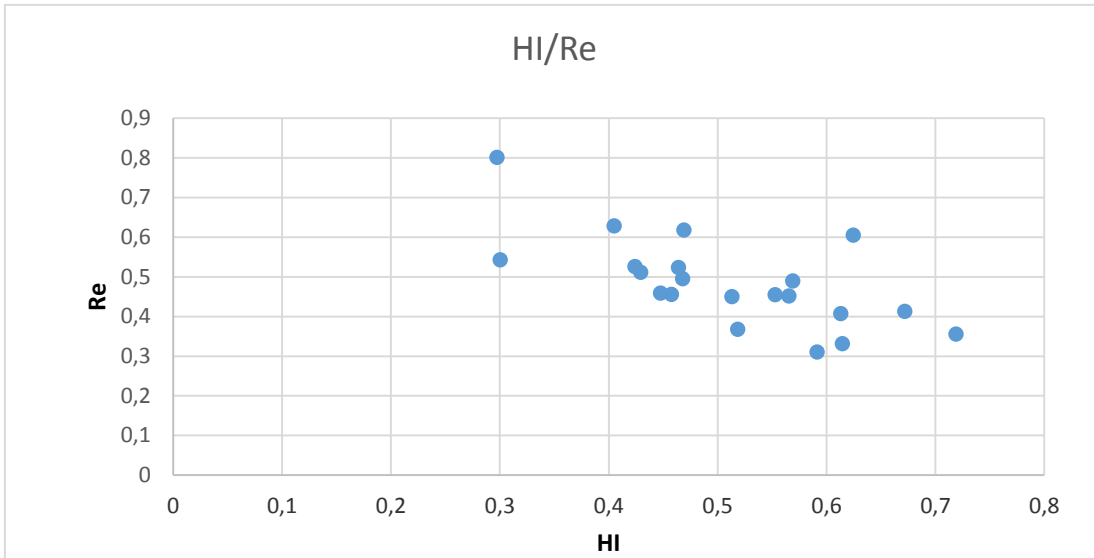


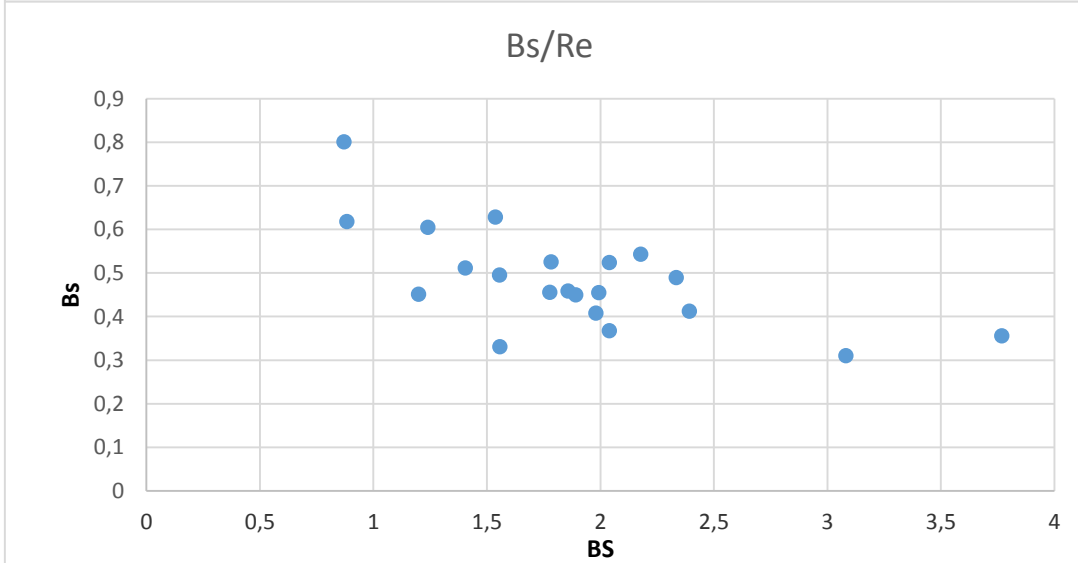
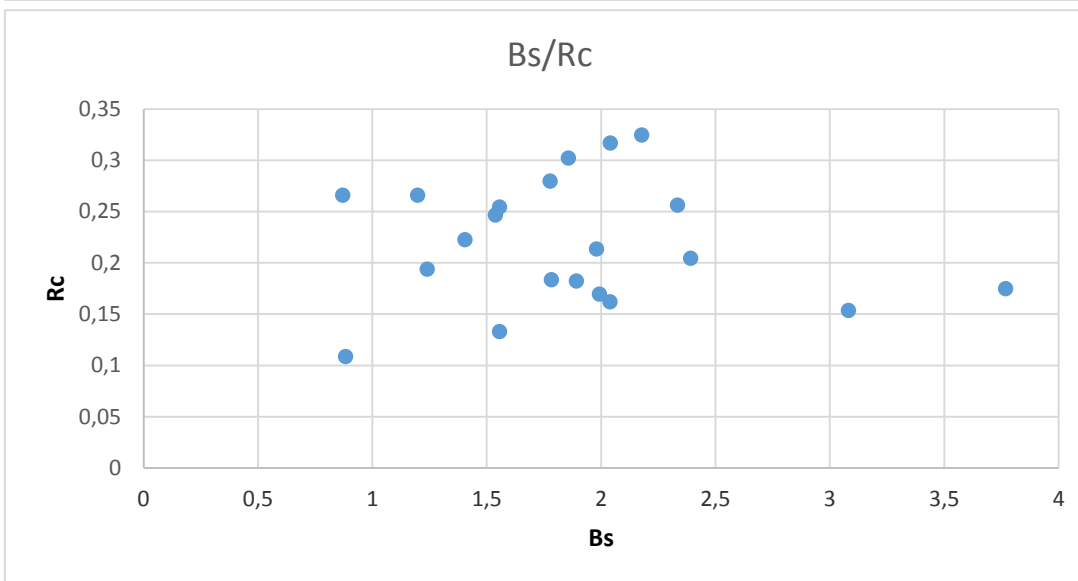
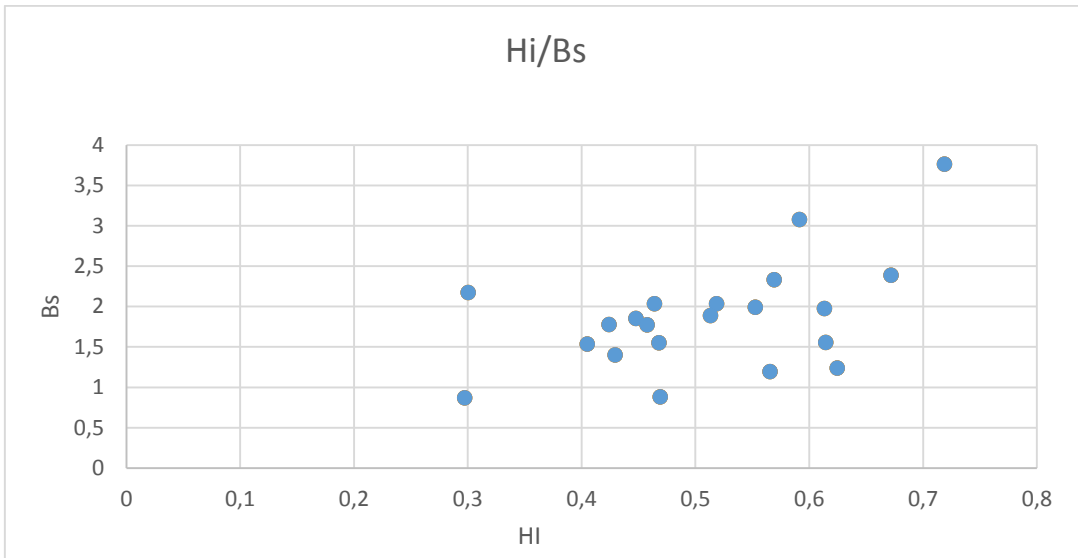


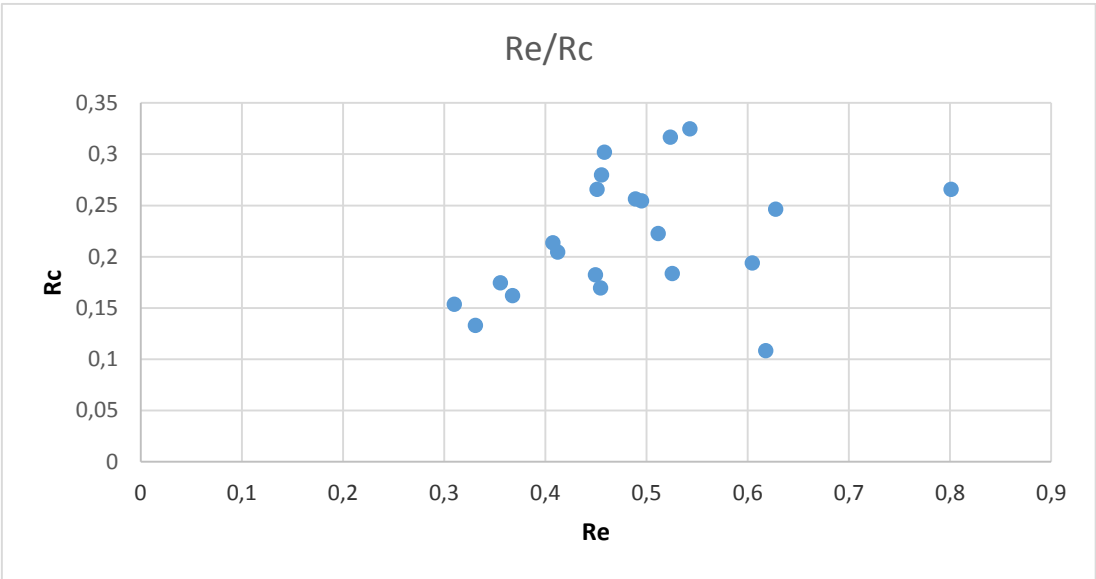
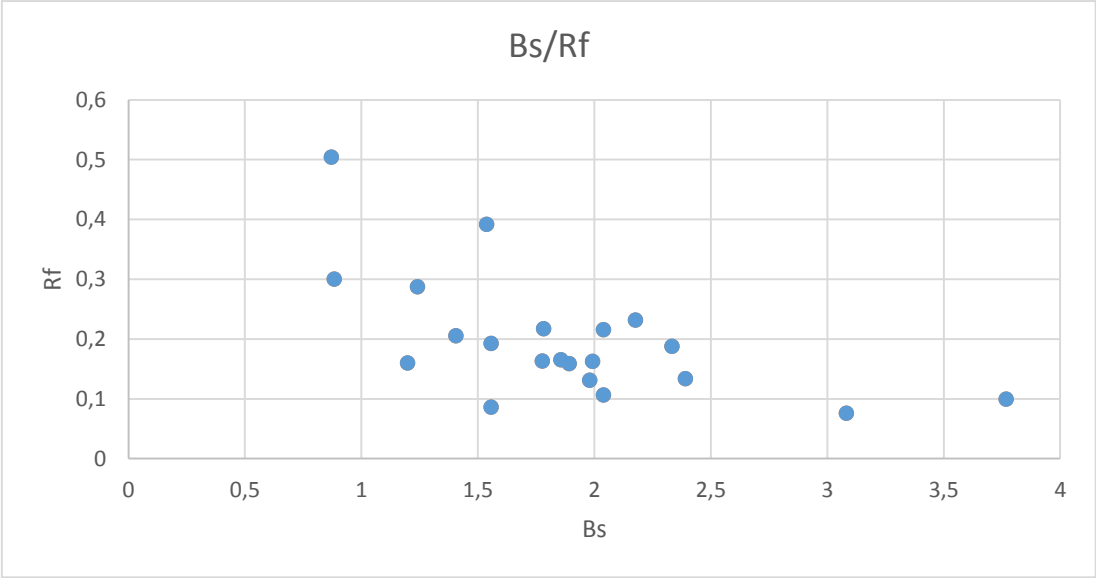
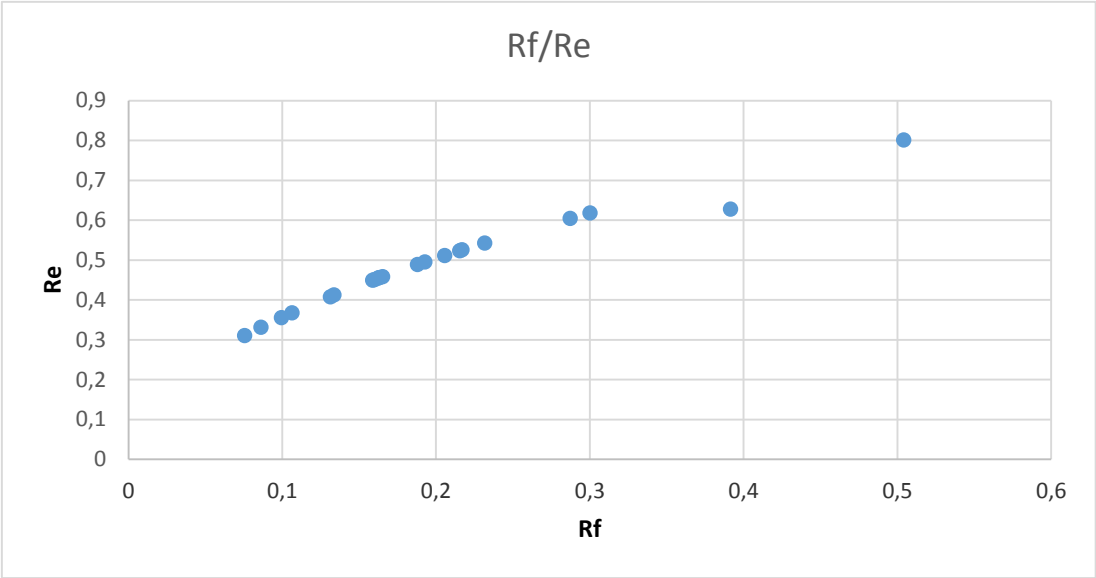


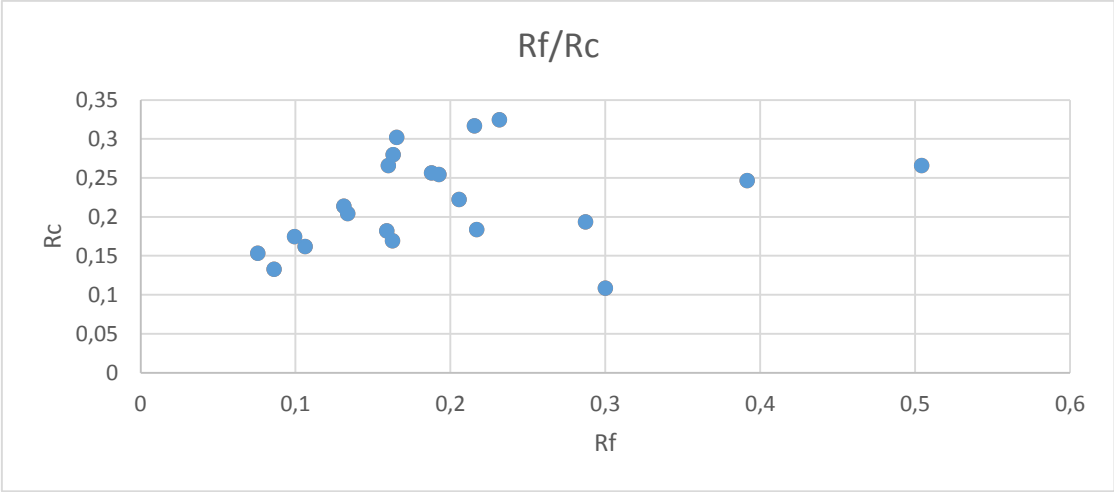
Dodatak II. Prikaz međuodnosa morfoloških indeksa



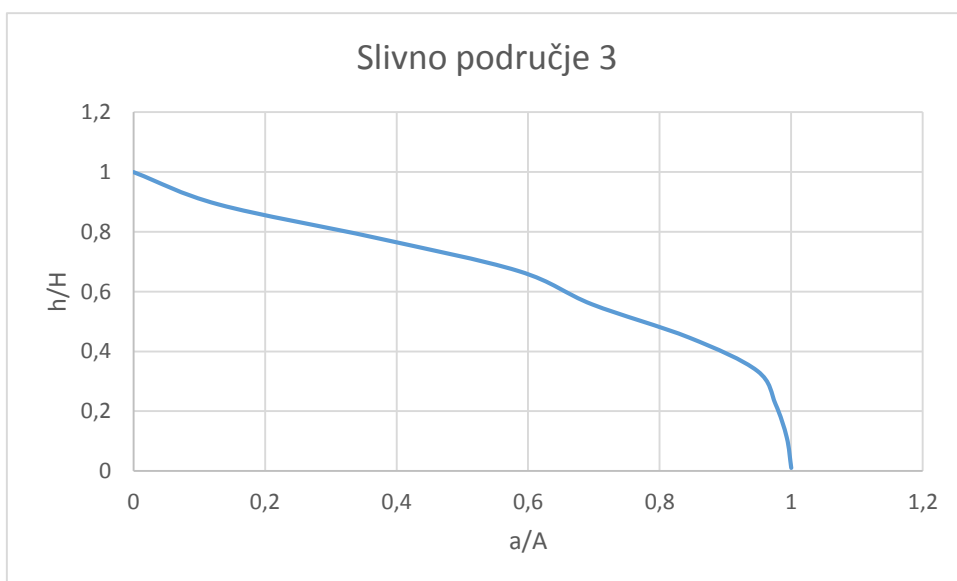
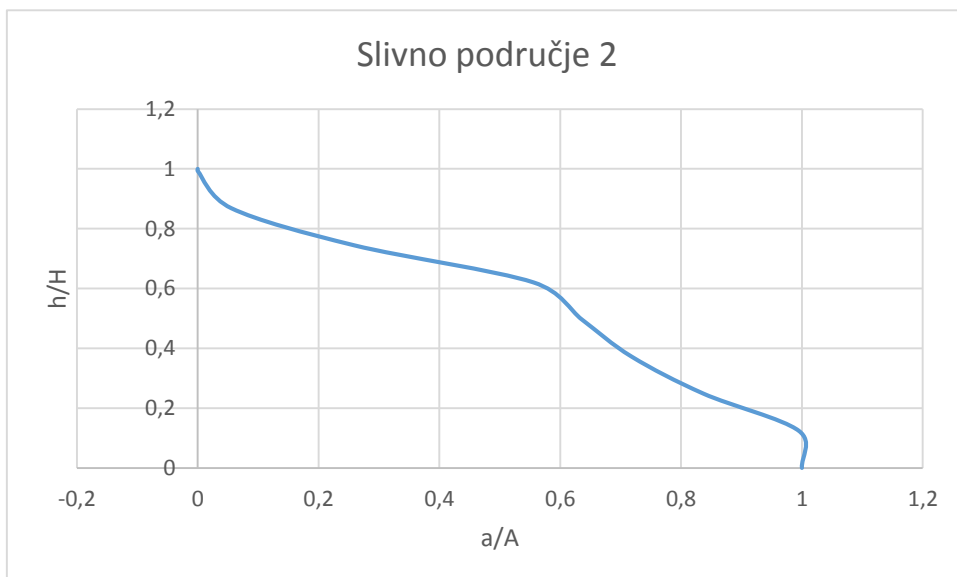
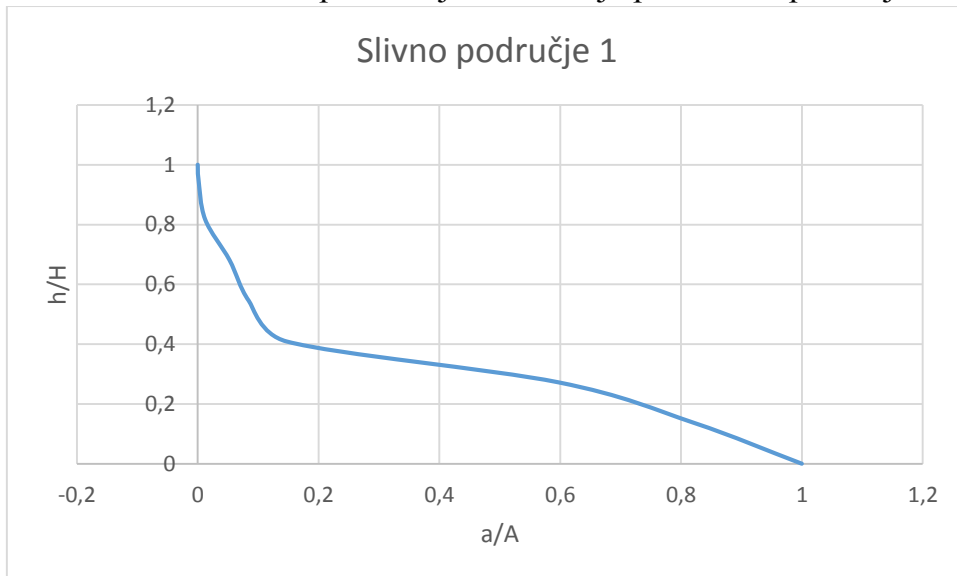




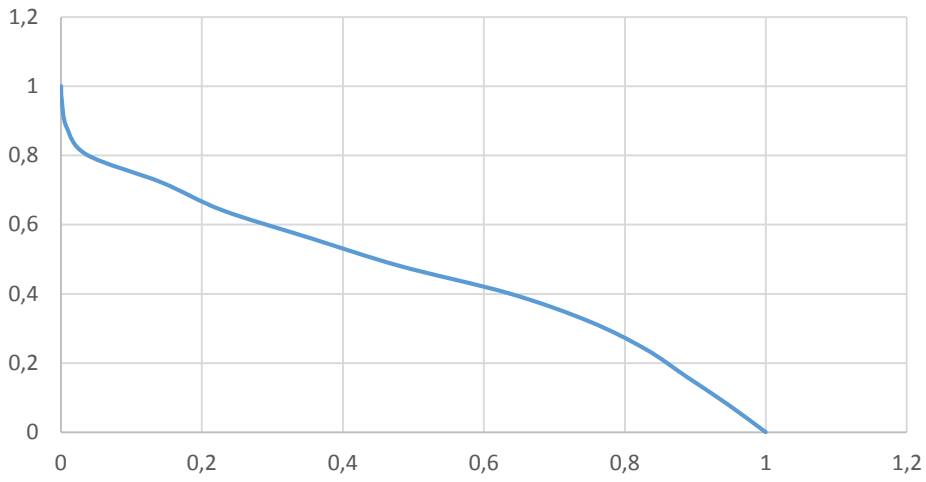




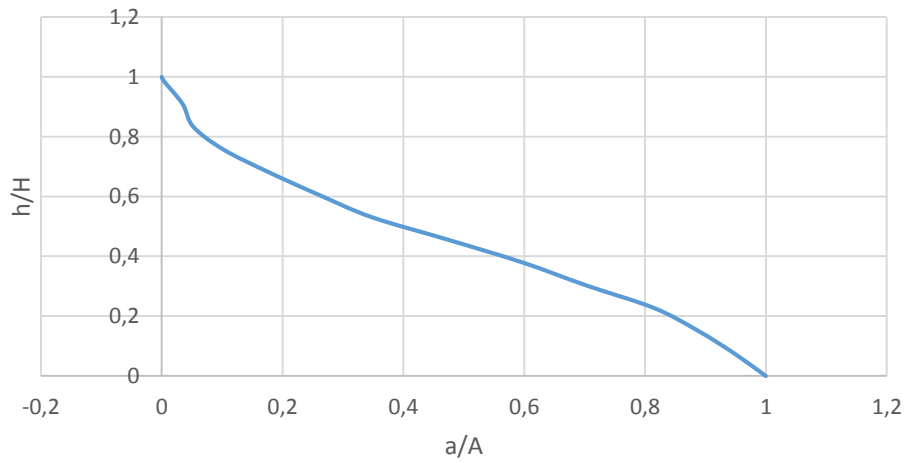
Dodatak III: Prikazi hipsometrijskih krivulja po slivnim područjima



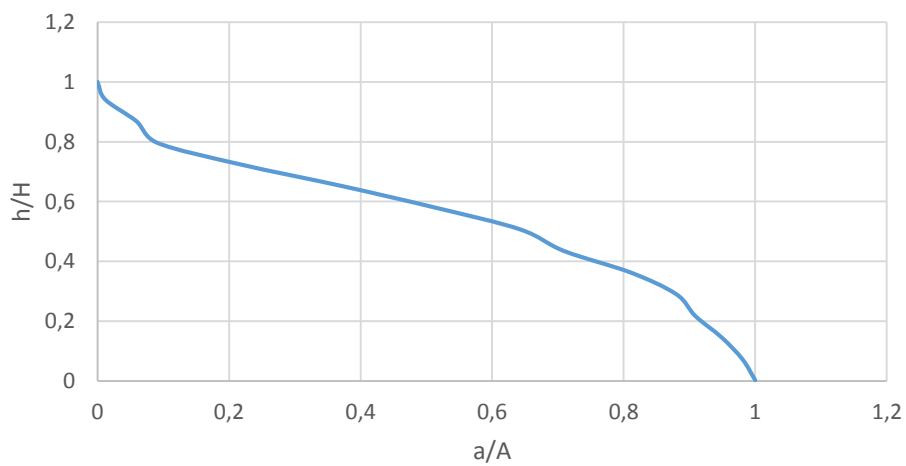
Slivno područje 4



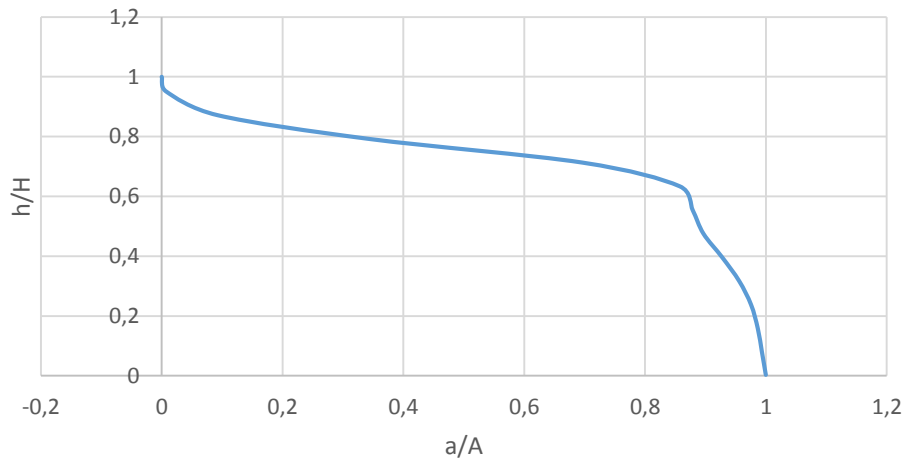
Slivno područje 5



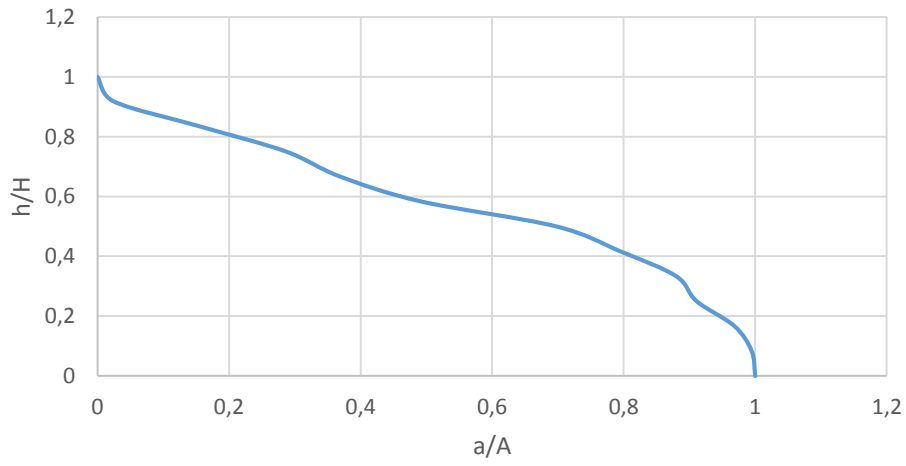
Slivno područje 6



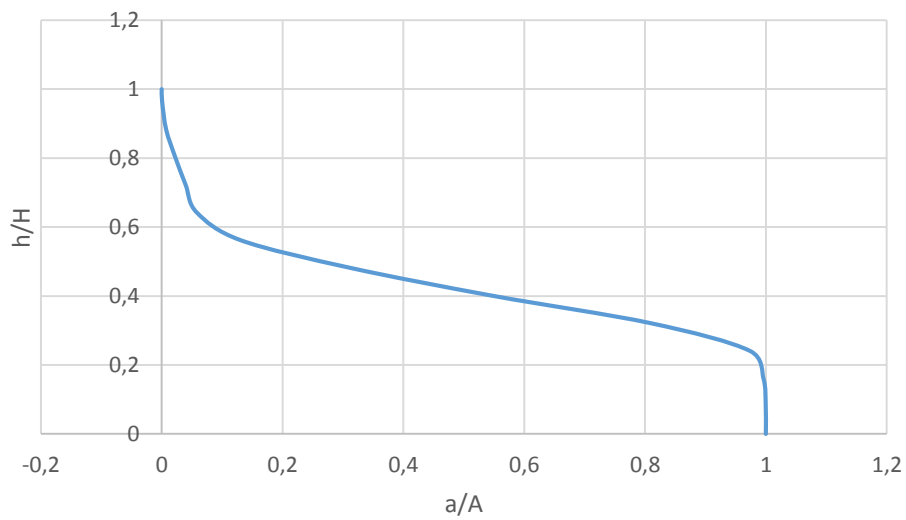
Slivno područje 7



Slivno područje 8

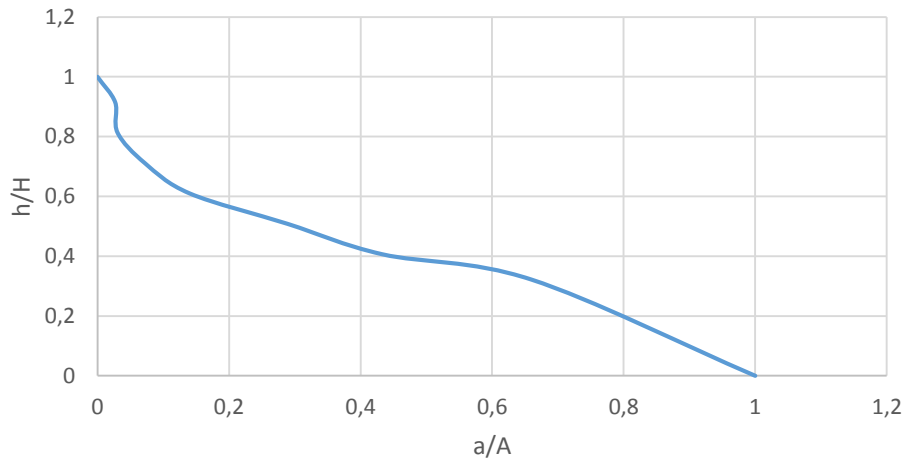


Slivno područje 9

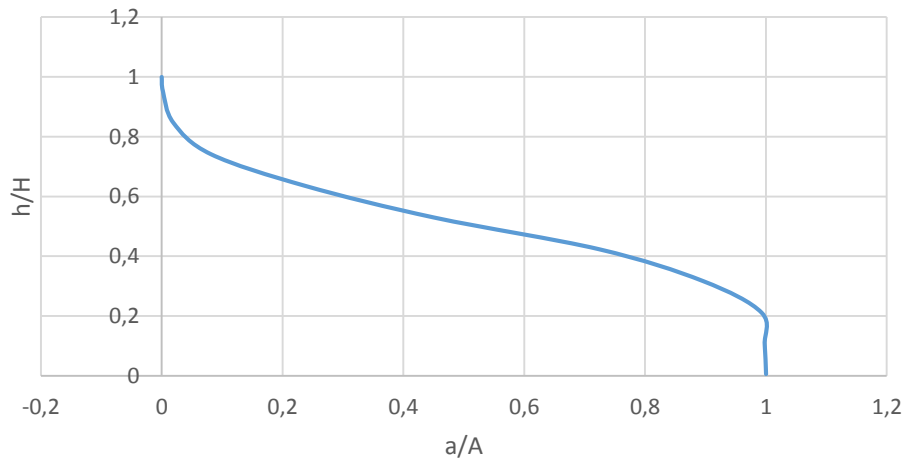




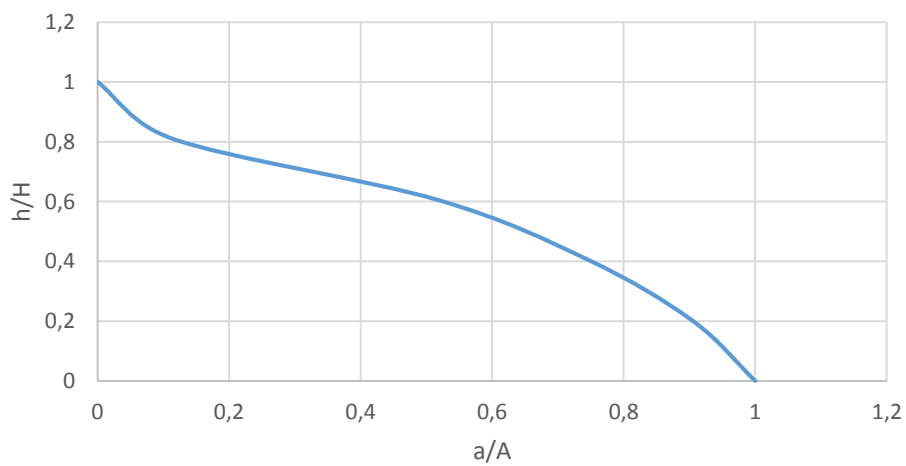
Slivno područje 10



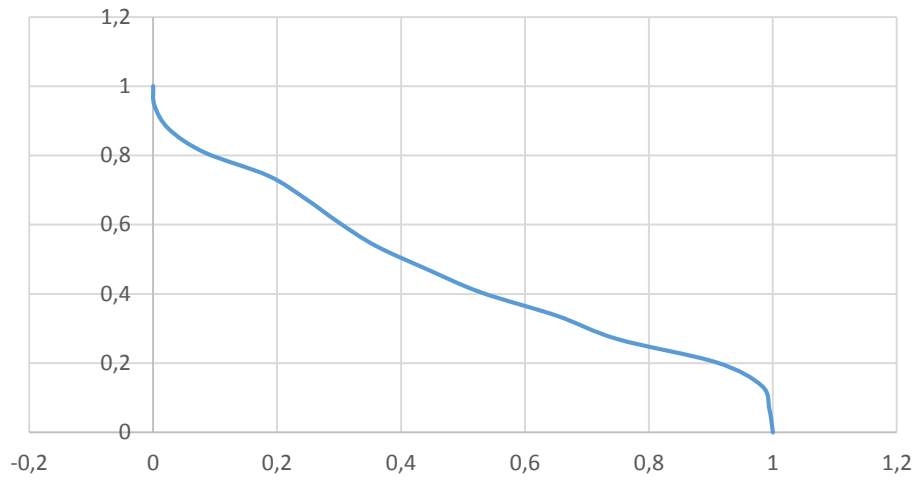
Slivno područje 11



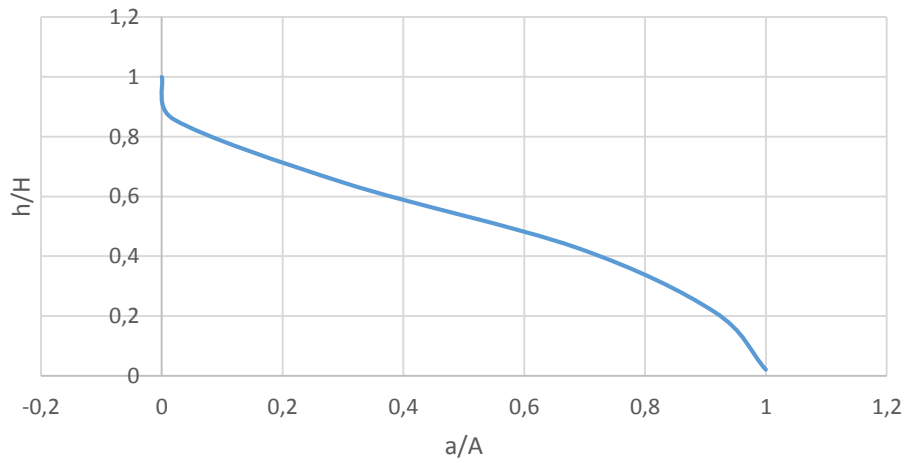
Slivno područje 12



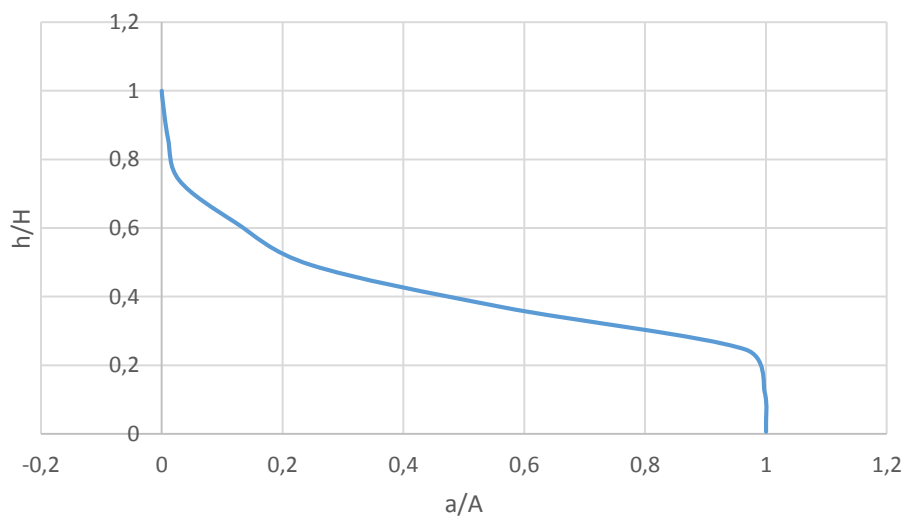
Slivno područje 13



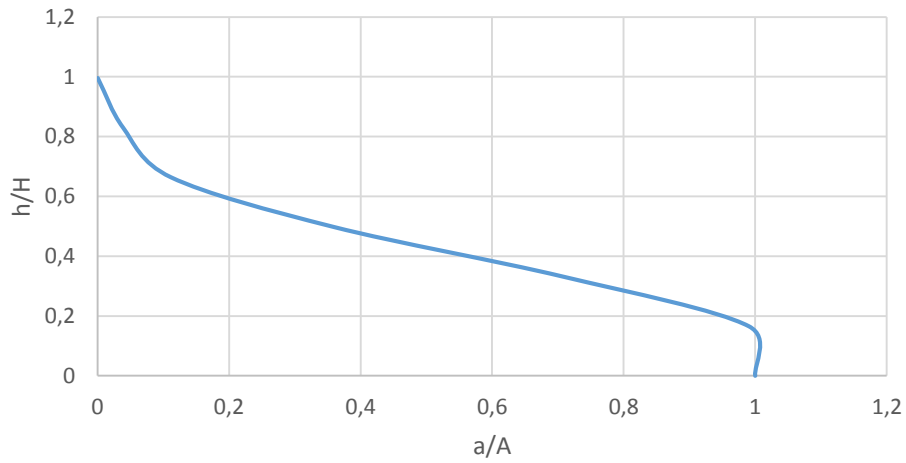
Slivno područje 14



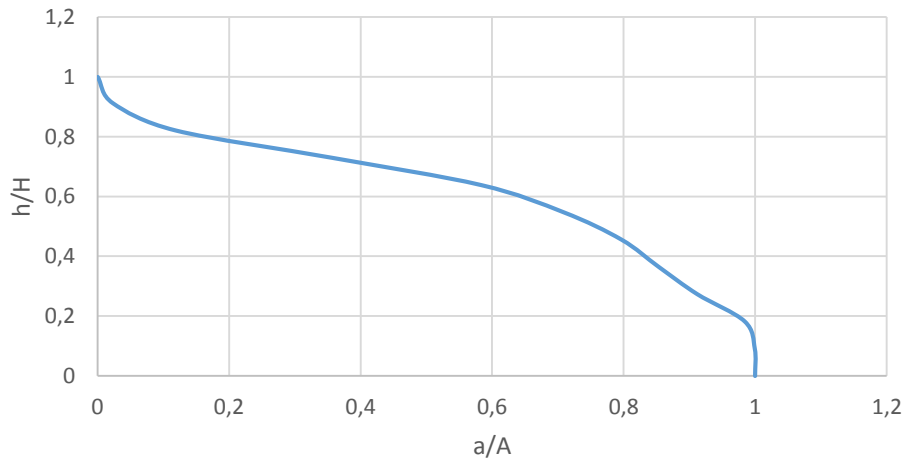
Slivno područje 15



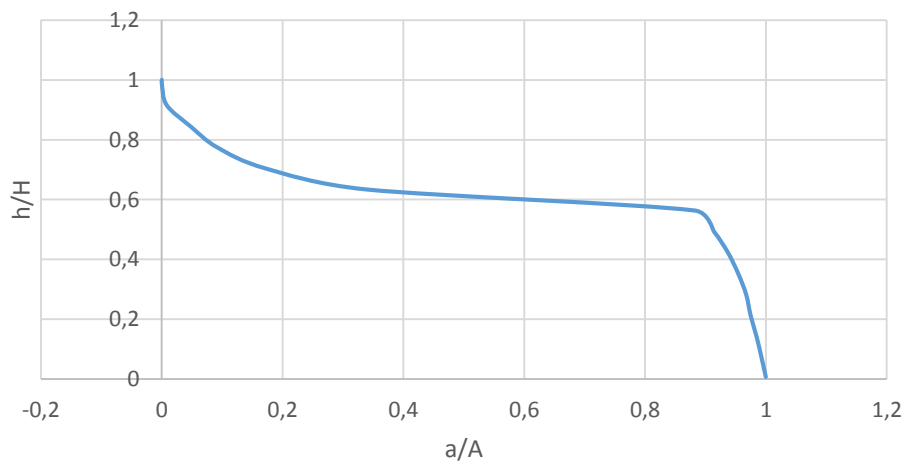
Slivno područje 16



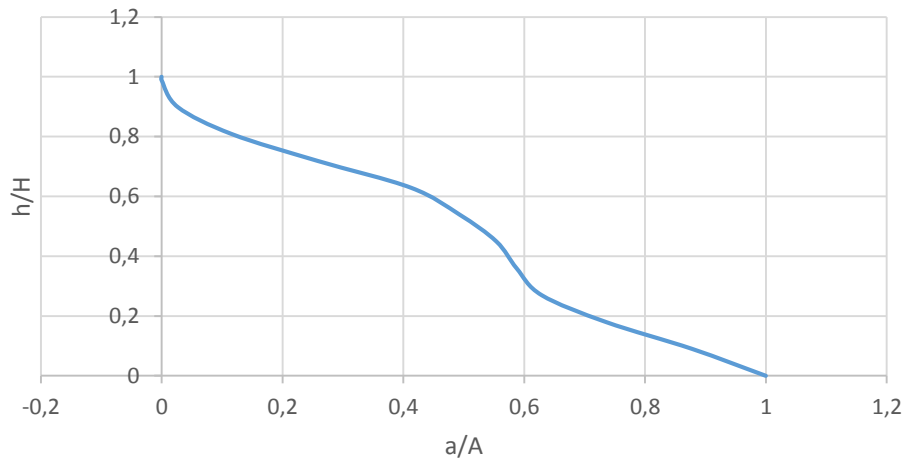
Slivno područje 17



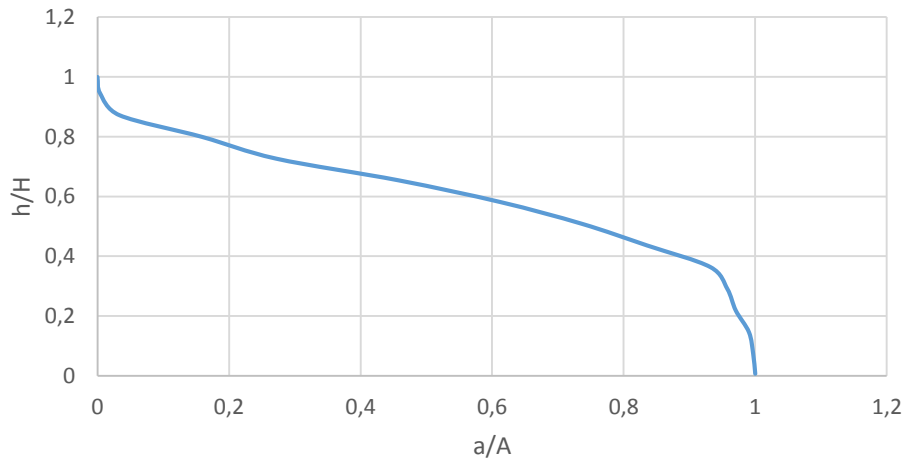
Slivno područje 18



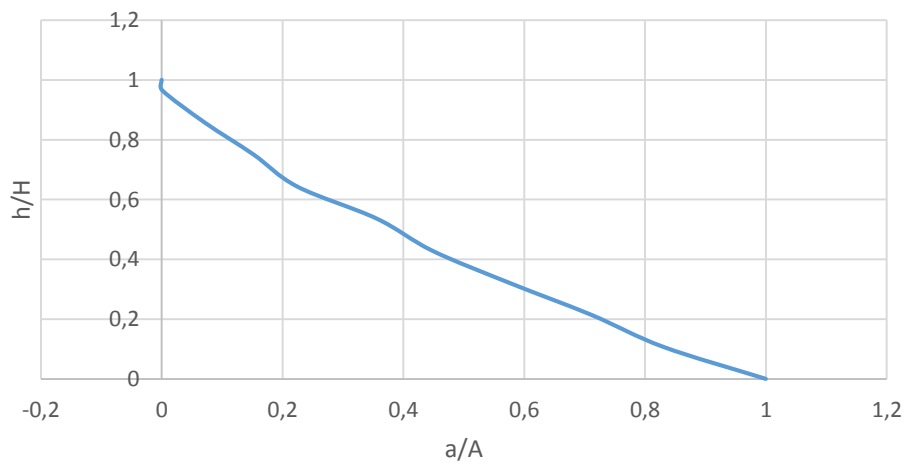
Slivno područje 19



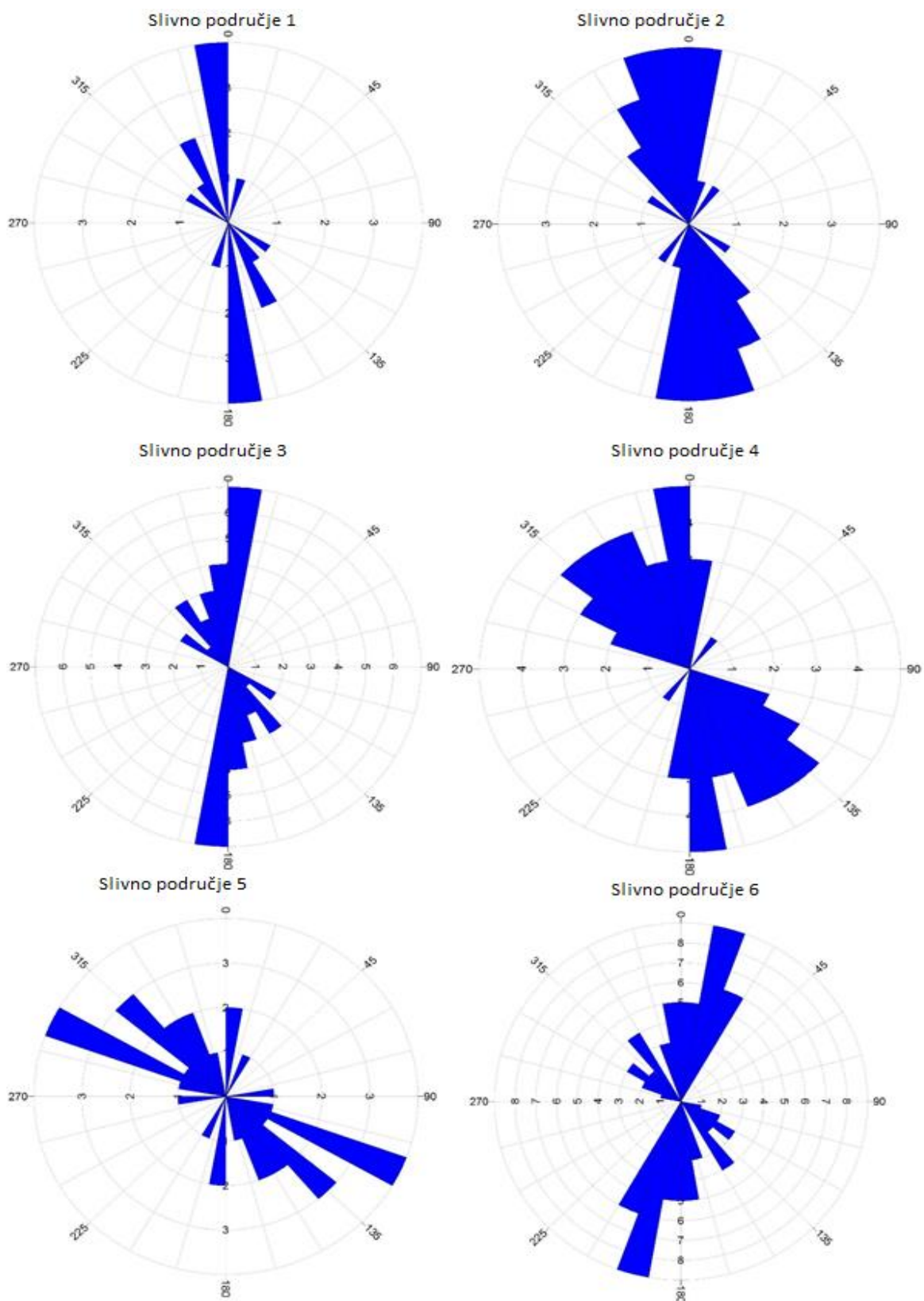
Slivno područje 20

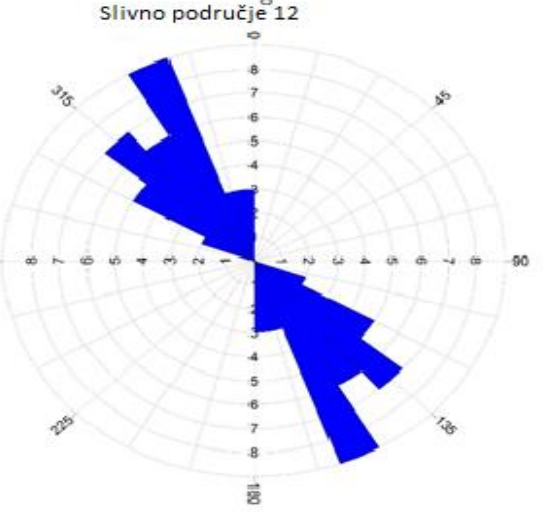
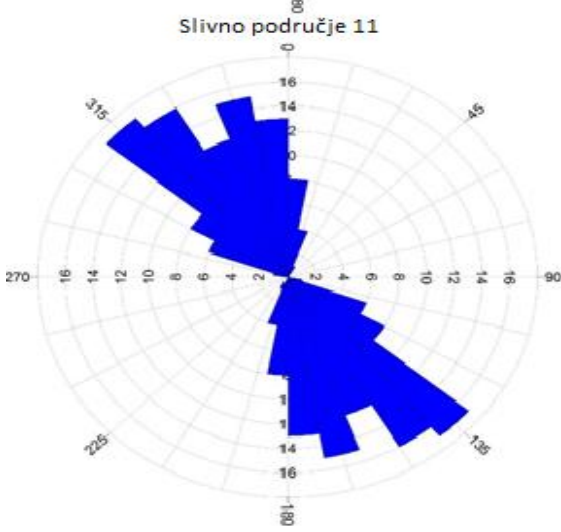
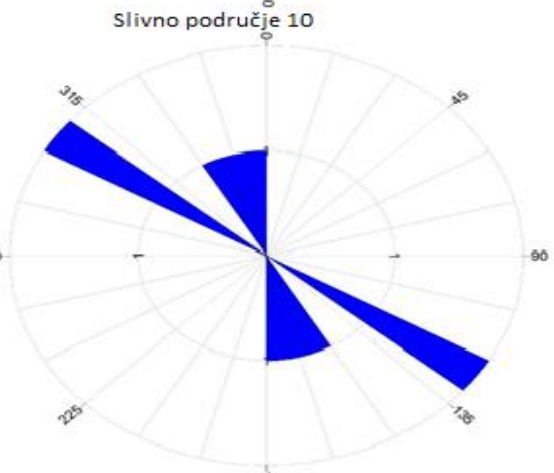
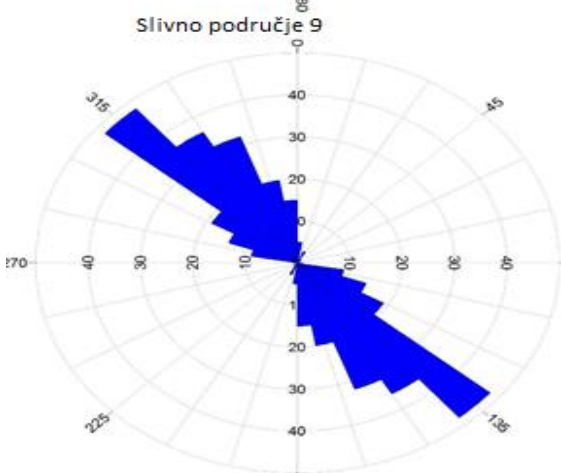
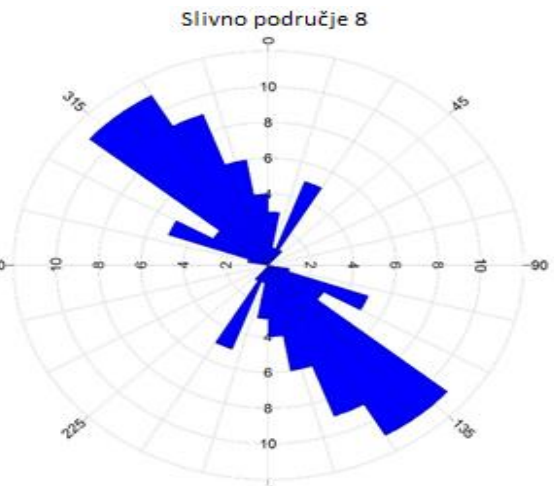


Slivno područje 21

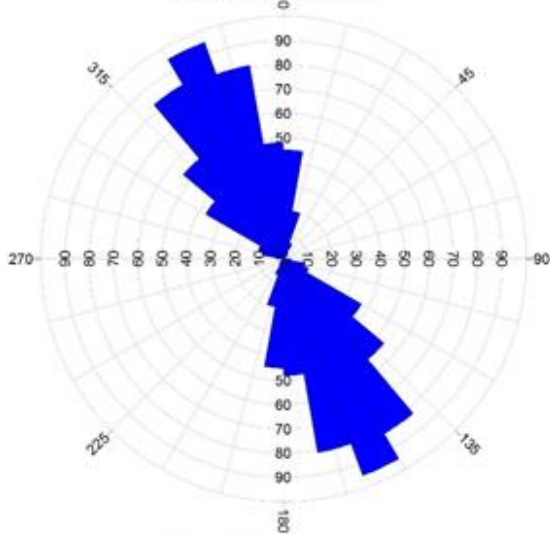


Dodatak IV. Prikaz rozetnih dijagrama lineamenta po slivnim područjima

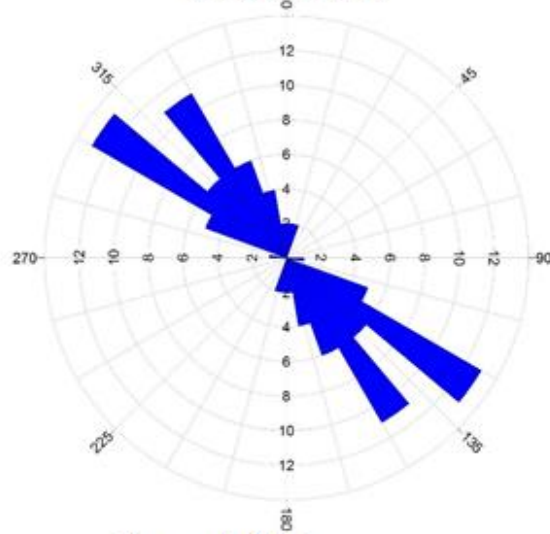




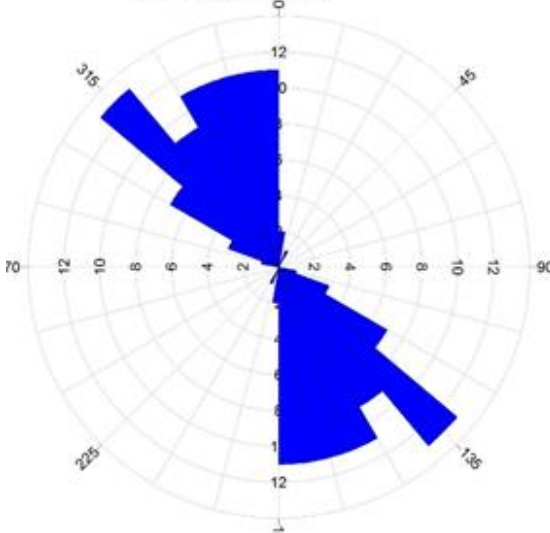
Slivno područje 13



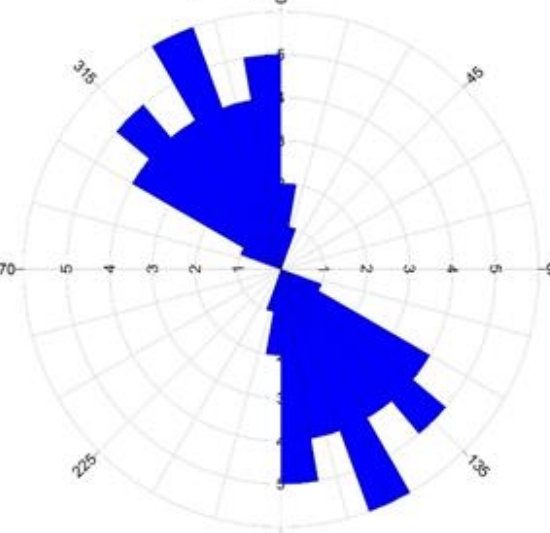
Slivno područje 14



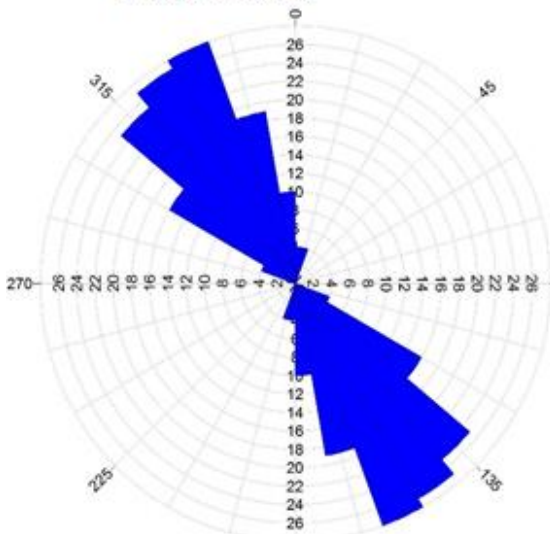
Slivno područje 15



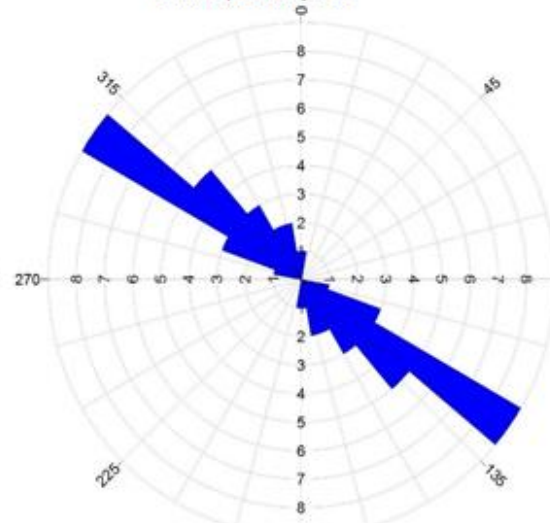
Slivno područje 16

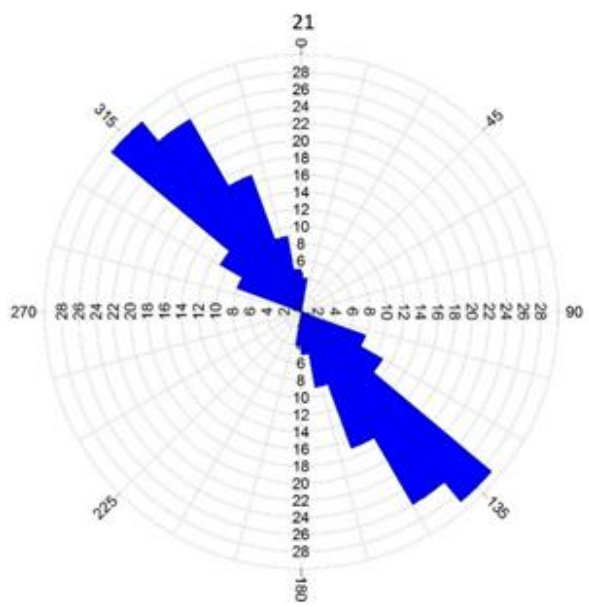
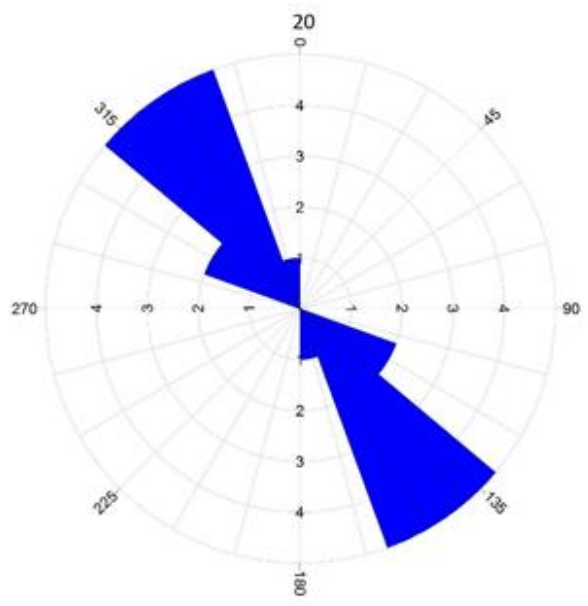
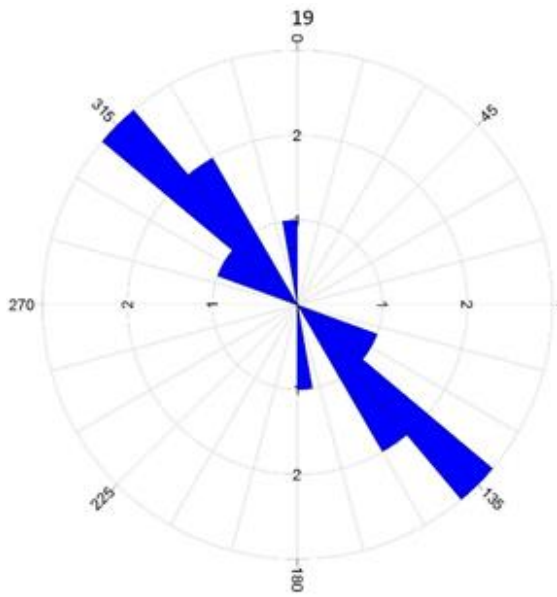


Slivno područje 17



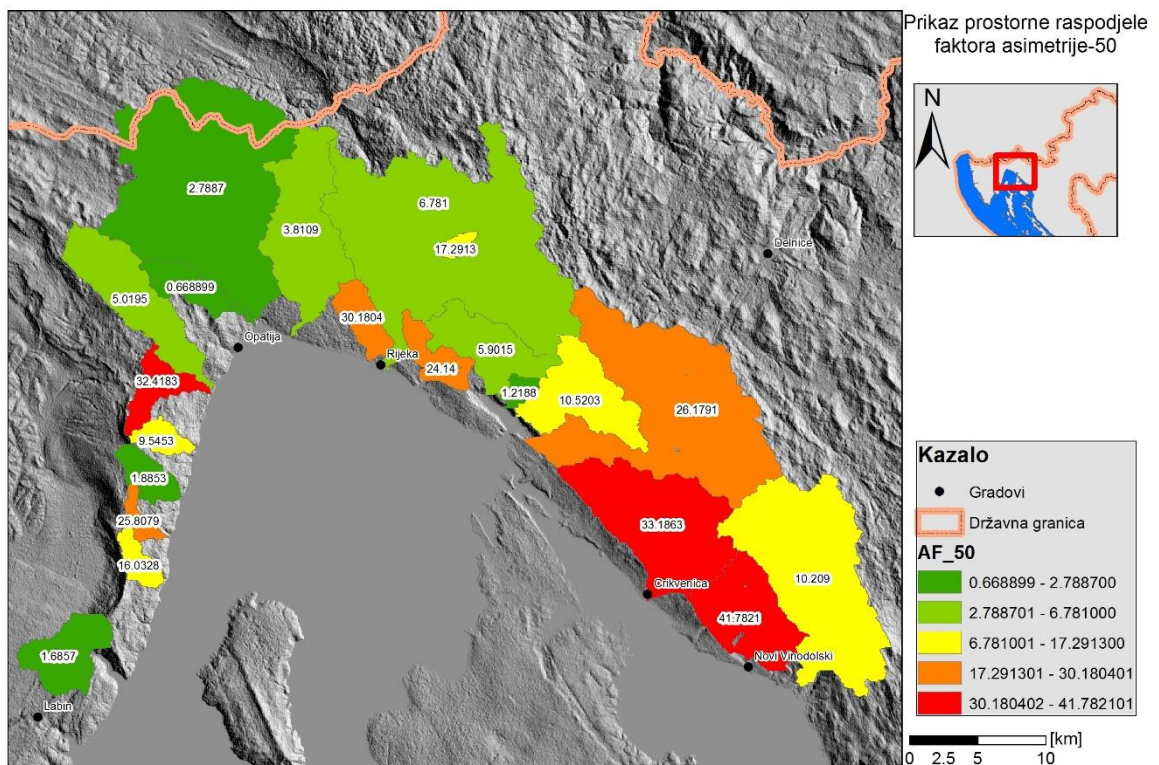
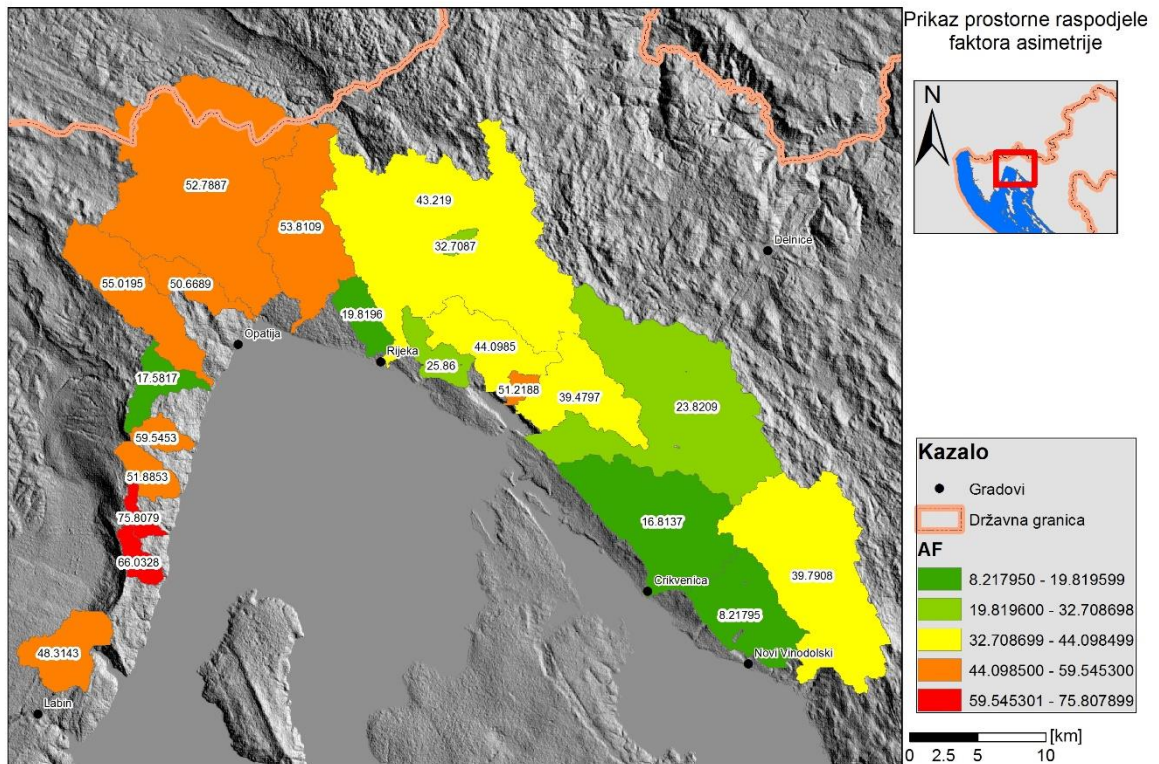
Slivno područje 18

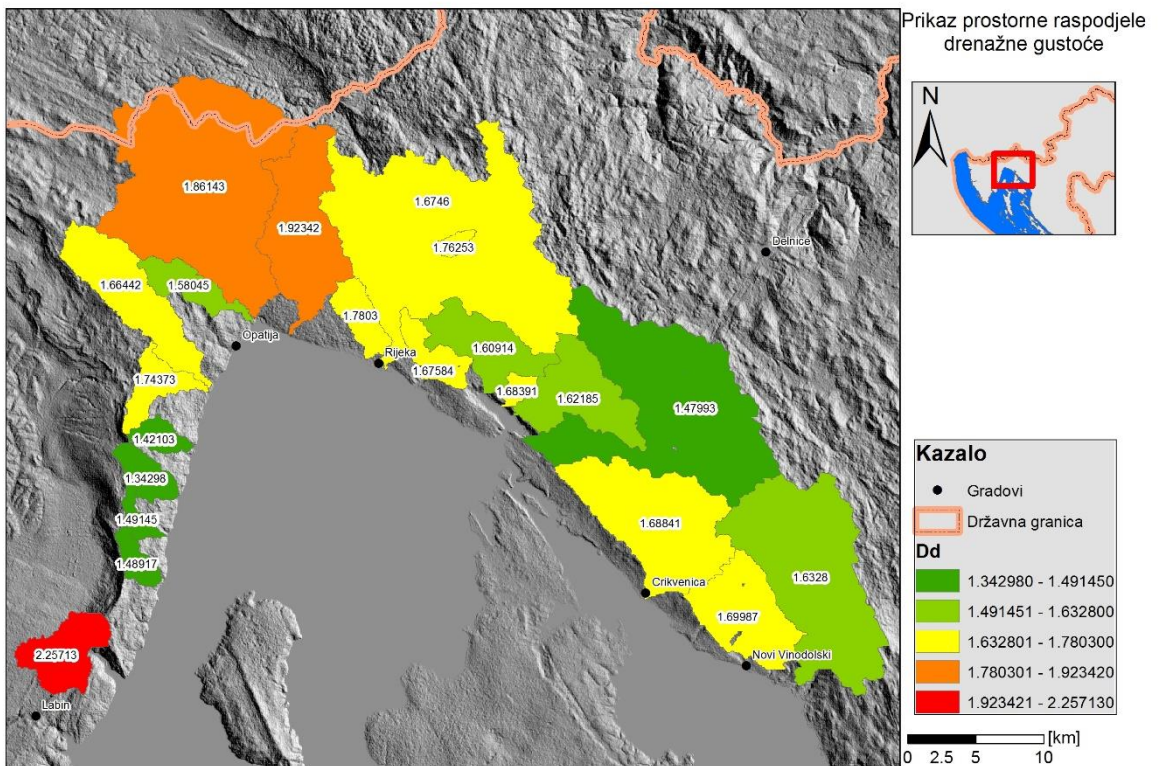
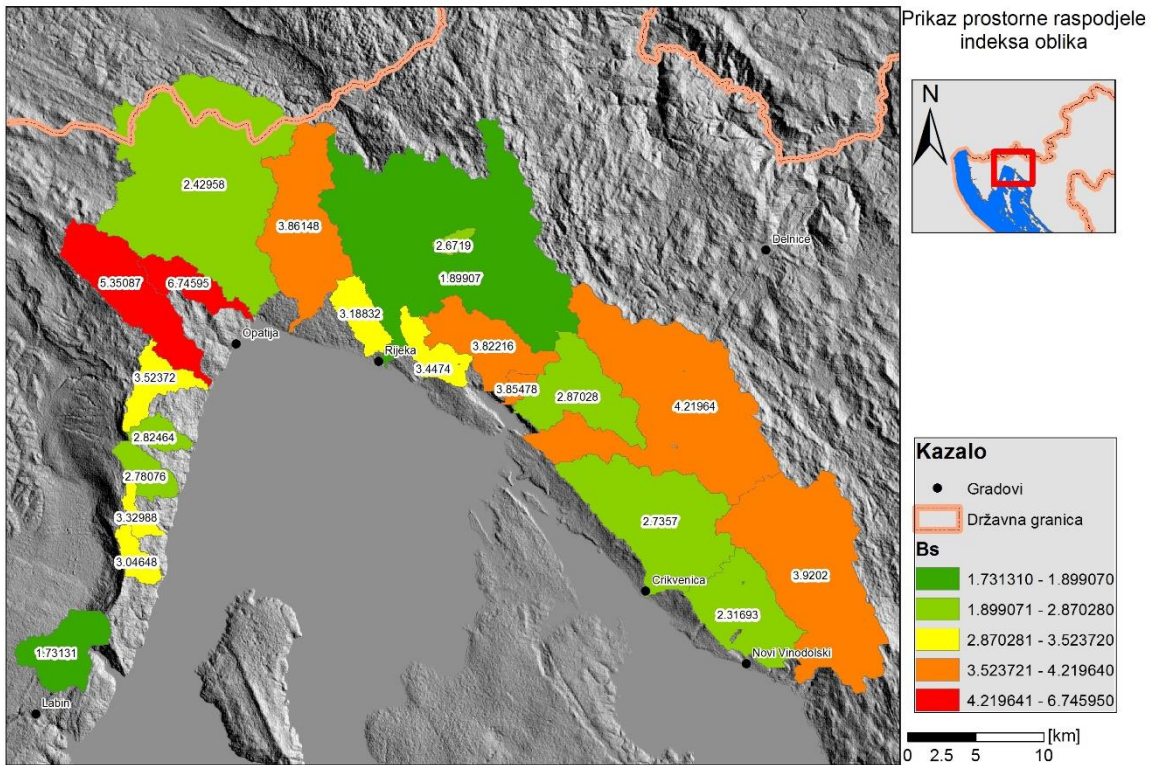


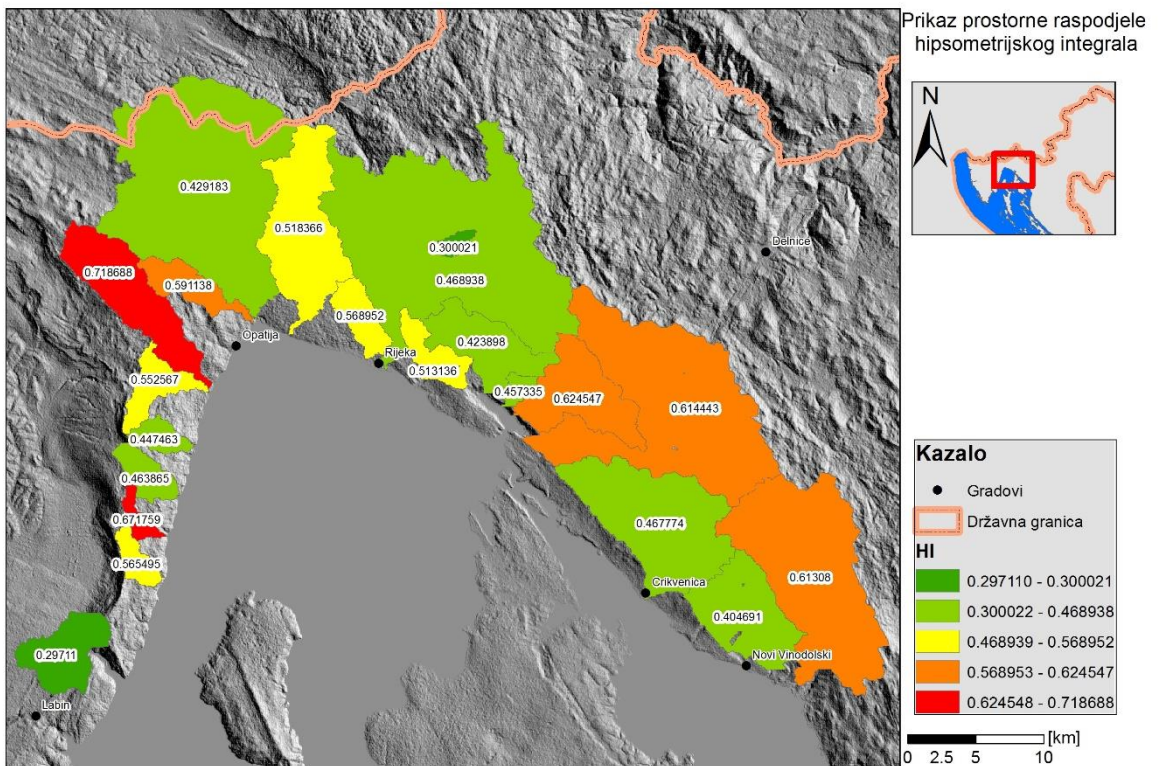
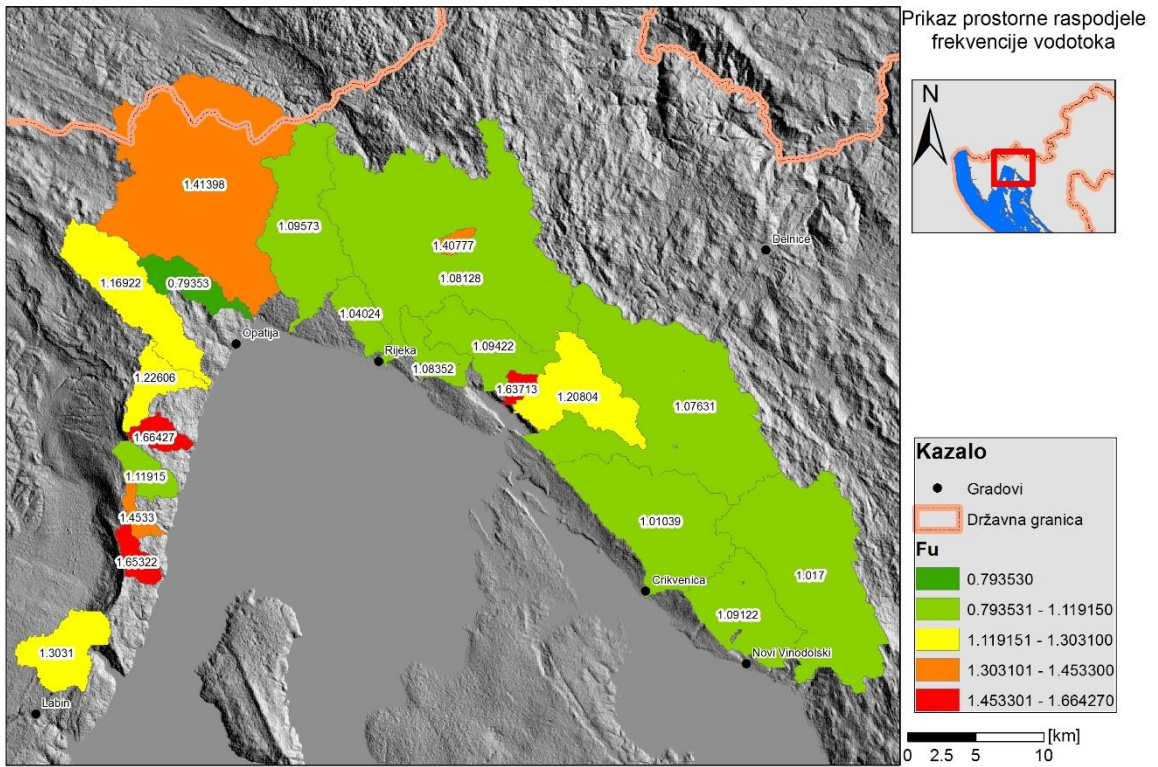


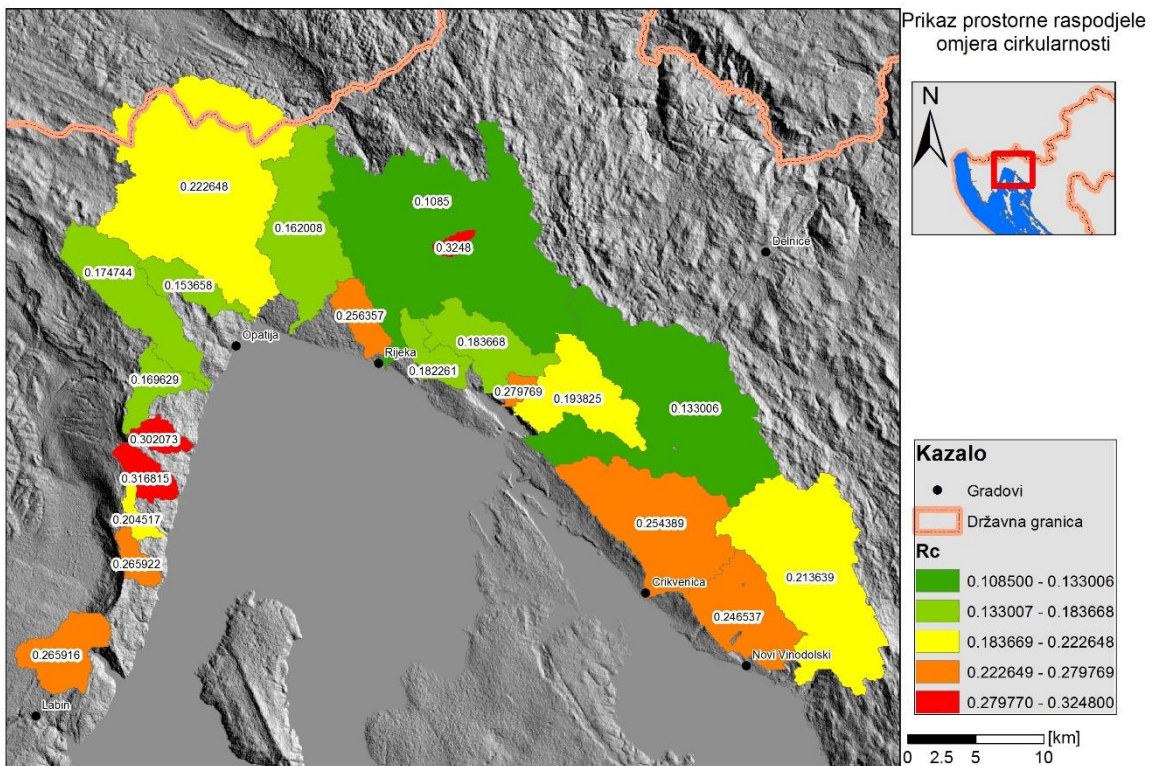
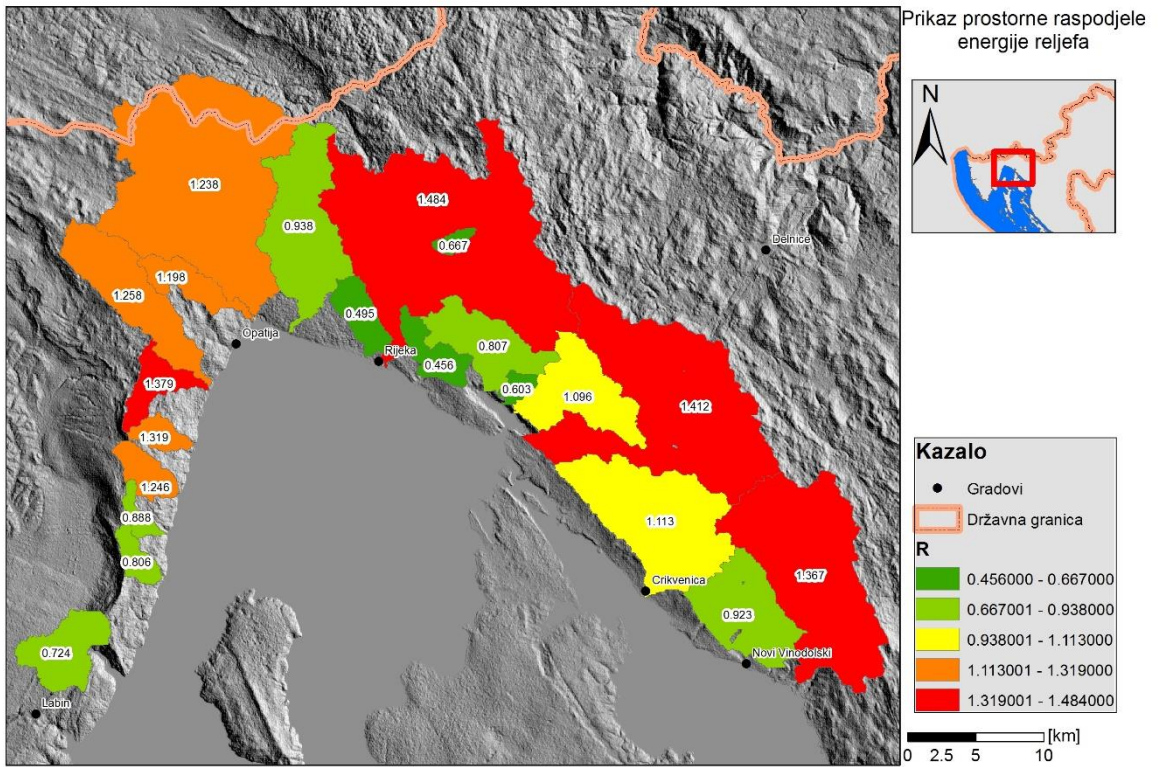


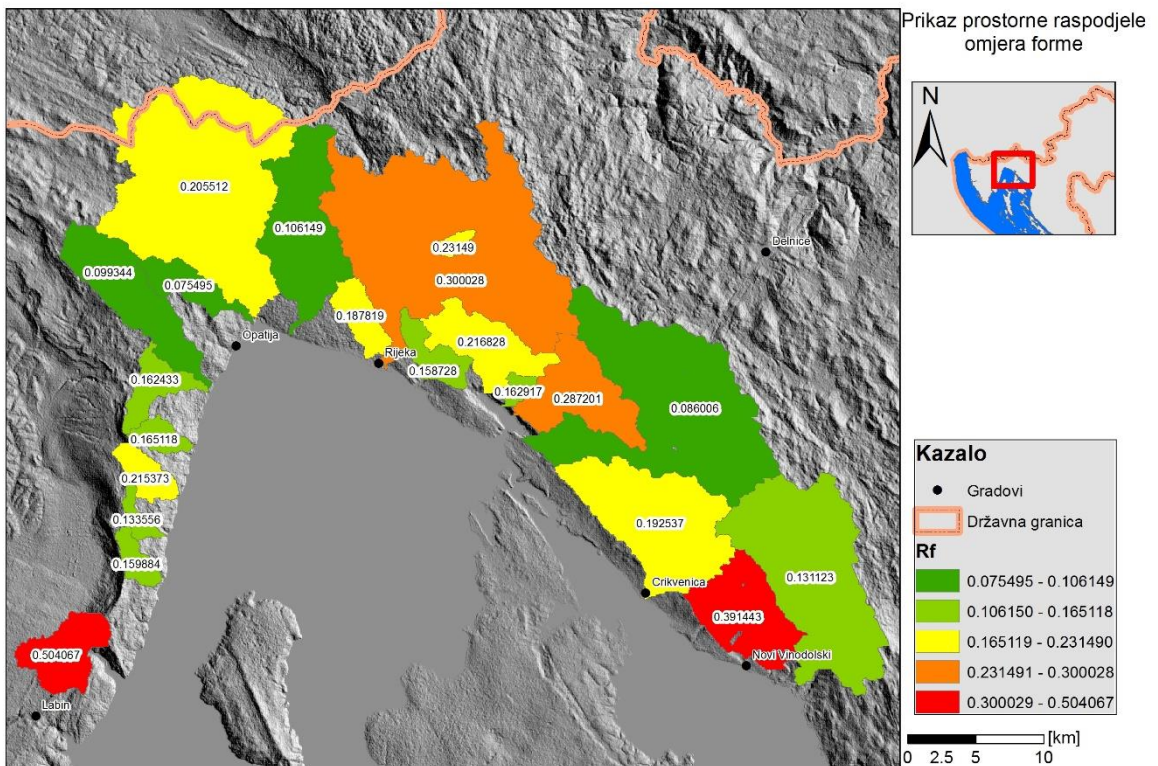
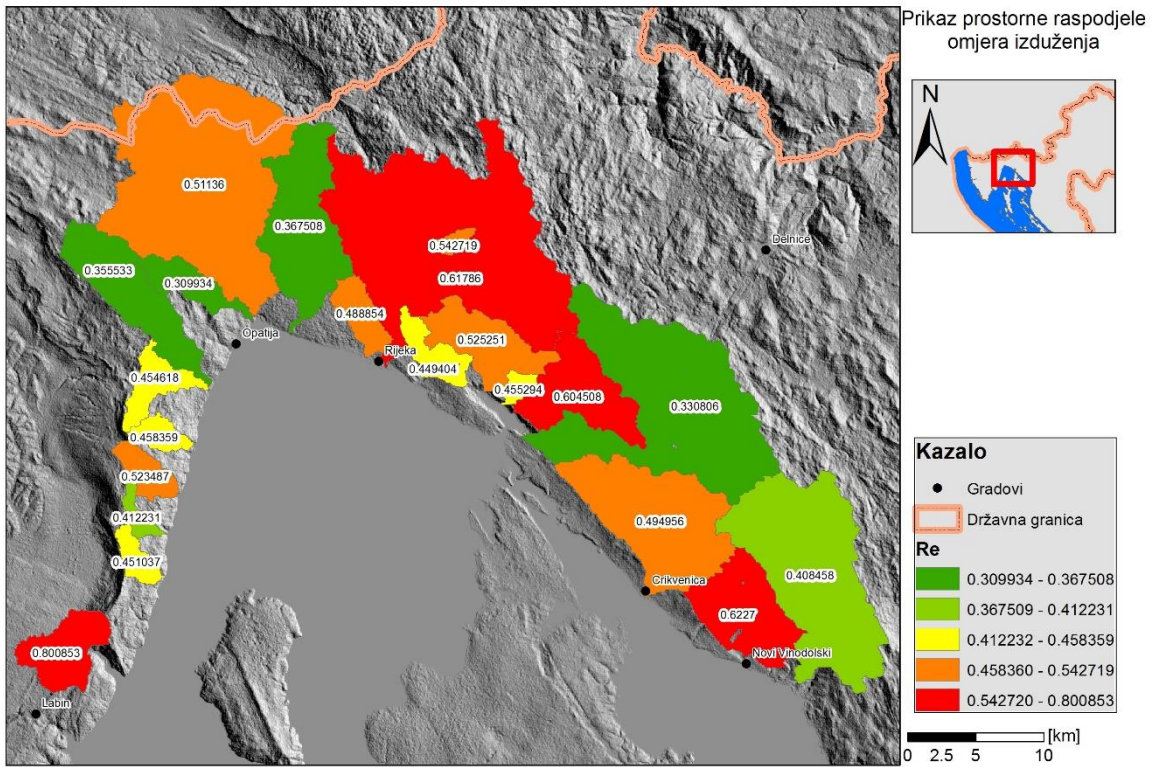
## Dodatak V. Kartografski prikazi rezultata analize slivnih područja

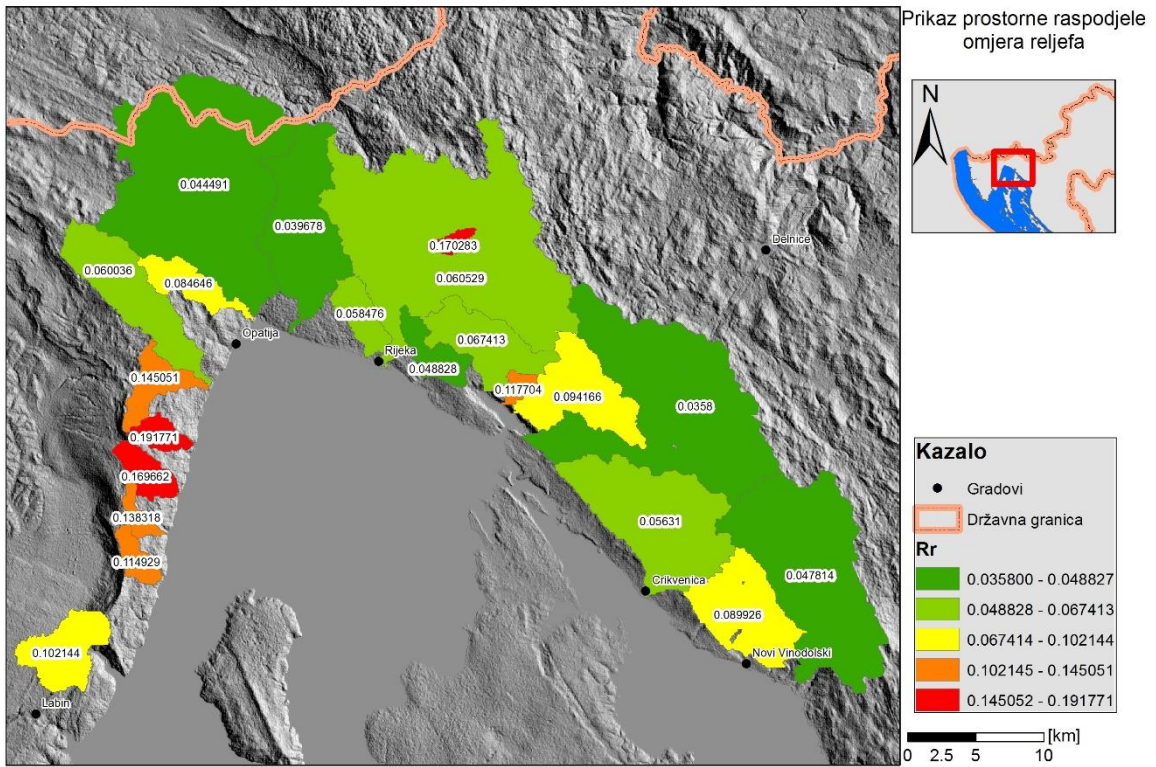












Dodatak VI. Prikaz faktorskih karata korištenih za izradu indeksa neotektonske aktivnosti

