

# Morfometrija izabranih sljevova potoka sjeverozapadne padine Medvednice

---

**Bonevska, Tihana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:217:531751>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-05**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Tihana Bonevska**

**Morfometrija izabranih sljevova potoka sjeverozapadne  
padine Medvednice**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2023.**



**Tihana Bonevska**

**Morfometrija izabranih sljevova potoka sjeverozapadne  
padine Medvednice**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog zvanja  
magistra struke znanosti o okolišu

**Zagreb  
2023.**



Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Znanosti o okolišu* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Nevena Bočića

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

Diplomski rad

## Morfometrija izabranih sljevova potoka sjeverozapadne padine Medvednice

Tihana Bonevska

**Izvadak:** Strme padine sjeverozapadnog dijela Medvednice podložne su derazijskim i fluvidenudacijskim procesima koji formiraju velik broj jaruga i V-dolina. U podnožju tog područja nalaze se plavine na kojima se nalazi veći broj naselja kojima nerijetko prijete bujične poplave. Cilj ovog rada bio je kvantitativnim metodama analizirati morfometrijska obilježja uz pomoć digitalnog modela reljefa, topografske i geološke karte. Analizirana su četiri drenažna bazena unutar kojih su utvrđena područja intenzivnih erozijskih procesa kao rezultat geološke građe, velikih visinskih razlika, ekspozicije te strmih padina dolina. Drenažni bazeni odlikuju se nepropusnom podlogom na kojoj je formirana površinska drenažna mreža, a glavni tokovi potoka pružaju se najvećim dijelom duž rasjednih linija. Također su analizirane pripadajuće plavine koje se odlikuju nižim nagibima i energijama reljefa te su ujedno i područja akumulacije aluvijalnog materijala pleistocenske i holocenske starosti.

56 stranica, 37 grafičkih priloga, 9 tablica, 24 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: drenažni bazeni, aluvijalne plavine, morfometrija, Medvednica, padine

Voditelj: prof. dr. sc. Neven Bočić

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Neven Bočić  
izv. prof. dr. sc. Mladen Pahernik  
prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović  
prof. dr. sc. Jasna Lajtner

Tema prihvaćena: 9. 2. 2023.

Rad prihvaćen: 7. 9. 2023.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Master Thesis

**Morphometry of selected drainage basins of streams on NW slopes of Medvednica**

Tihana Bonevska

**Abstract:** The steep slopes of the northwestern part of Medvednica are susceptible to fluviodenudational processes, which form a large number of gullies and V-shaped valleys. At the base of this area, there are alluvial fans on which large number of settlements are located and often threatened by flash floods. The aim of this study was to analyse morphometric characteristics using quantitative methods on digital elevation model, topographic and geological map. Four drainage basins were analysed, which are areas of intense erosion processes as a result of geological structure, altitude differences, exposure and steep slopes. The drainage basins are characterized by impermeable rocks that have formed a drainage network, and the main stream channels mostly flow through fault lines. Additionally, the corresponding fans were digitized and analysed, characterized by lower gradients of slopes and relief energies, so they are areas of intensive accumulation of alluvial material of Pleistocene and Holocene age.

56 pages, 37 figures, 9 tables, 24 references; original in Croatian

**Keywords:** drainage basins, alluvial fans, morphometry, Medvednica, slopes

**Supervisor:** Neven Bočić, PhD, Associate Professor

**Reviewers:** Neven Bočić, PhD, Associate Professor  
Mladen Pahernik, PhD, Associate Professor  
Blanka Cvetko Tešović, PhD, Full Professor  
Jasna Lajtner, PhD, Full Professor

**Thesis title accepted:** datum sjednice Vijeća GO na kojoj je odobrena tema

**Thesis accepted:** datum sjednice Vijeća GO kada je izabrano povjerenstvo za ocjenu i obranu rada; upisuje se nakon sjednice

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.



*Hvala profesoru Bočiću što se maksimalno potrudio prilagoditi temu mojim željama, a kao mentoru – skidam kapu! Hvala najboljoj mami i tati na beskrajnom strpljenju i pomoći te seki, mom najvećem navijaču. Hvala svim mojim prijateljima koji su bili tu kad je trebalo. Hvala mom Taekwondo klubu Zaprešić na bezuvjetnoj podršci. I na kraju, hvala mojoj kćeri koja mi je najveća motivacija na svijetu u svemu što radim.*

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....	2
3. ISTRAŽIVANO PODRUČJE.....	3
4. METODE RADA .....	8
5. REZULTATI.....	13
5.1 OPĆA MORFOMETRIJSKA ANALIZA.....	13
5.1.1. Hipsometrija .....	14
5.1.2. Nagibi.....	19
5.1.3. Ekspozicija .....	24
5.1.4. Vertikalna raščlanjenost .....	29
5.1.5. Profilna zakrivljenost .....	34
5.1.6. Planarna zakrivljenost .....	37
5.2 SPECIFIČNA MORFOMETRIJSKA ANALIZA.....	39
5.2.1. Drenažni bazeni .....	39
5.2.2. Indeks bifurkacije i prvi Hortonov zakon .....	40
5.2.3. Gustoća drenažne mreže.....	42
5.2.4. Faktor asimetrije .....	43
5.2.5. Hipsometrijska krivulja i integral .....	44
5.3 UTJECAJ GEOLOŠKE GRAĐE .....	49
6. RASPRAVA .....	51
7. ZAKLJUČAK .....	53
8. LITERATURA.....	54
9. PRILOZI .....	57

## 1. UVOD

Poznavanje osnovnih morfometrijskih podataka o nekom području predstavlja temelj za širok raspon daljnjih postupaka – od specijalističkih analiza, izrada elaborata okoliša pa do planiranja i izrada strategija upravljanja datim prostorom. Stoga je od neizmjerne važnosti razumijevanje nastanka i oblikovanja reljefa od interesa. Predmet ovog diplomskog rada usmjeren je na hidrogeografske značajke reljefa na sjeverozapadnim padinama Medvednice te su detaljno analizirani drenažni bazeni, drenažne mreže te pripadajuće plavine.

Drenažni bazeni predstavljaju temeljnu hidrološku jedinicu unutar koje svi tokovi konvergiraju u zajedničku točku (Molle i sur., 2007). Granica drenažnog bazena određena je hidrološkom razvodnicom, a ona razdvaja promatrani drenažni bazen od susjednih bazena. Značajan utjecaj na otjecanje vodnih masa unutar bazena imaju veličina i oblik bazena, nagib, ekspozicija, energija reljefa i gustoća drenažne mreže. Slijede zatim geološki sastav u vidu poroznosti i propusnosti stijena, vrsta prisutne vegetacije te učestalost i intenzitet klimatskih elemenata (Žugaj, 2000). Valja nadodati kako čovjek svojim modifikacijama dijelova bazena, odnosno preusmjeravanjem i kanaliziranjem tokova nepovratno mijenja prirodni način funkcioniranja vodenog sustava.

Drenažna mreža glavna je sastavnica drenažnog bazena te predstavlja sve vodotoke tog prostora – stalne, isprekidane i povremene. Stalni vodotoci imaju neprekidno otjecanje vode, isprekidani vodotoci vrlo često imaju tok koji je uzrokovan kratkotrajnim oborinama, dok se povremeni vodotok pojavljuje samo za vrijeme velikih oborina (Žugaj, 2000).

Nastavno na drenažni bazen pružaju se njihove plavine. To su morfološke formacije lepezastog oblika koje se formiraju uslijed akumulacije klastičnog materijala na područjima gdje riječni tokovi napuštaju uske doline gorskog područja i ulaze na prostor ravnice (Tišljar, 1994). Njihov oblik uvelike ovisi o površini drenažnog bazena, intenzitetu erozije stijena te količini i energiji vode unutar same drenažne mreže. Akumulirani materijal u početnom, vršnom dijelu lepeze se sastoji od krupnozrnatih šljunaka ili konglomerata, dok se nizvodno akumulira sve finiji, pješčani, a ponegdje i sitnozrnati detritus. S obzirom na broj drenažnih bazena koji ih formiraju, lepeze možemo svrstati u jednostruke, dvostruke i višestruke.

## 2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Još od davnih dana, Medvednica je bila predmet potraga i istraživanja njezinih potencijala. Tako su na području gornjeg toka Bistre još u XVIII. stoljeću novodoseljeni francuski grofovi pokušali vaditi srebrnosni galenit iz kvarcno-karbonatnih žilica koje su se smjestile duž rasjednih linija. Po grofovima je opisano nalazište dobilo naziv „Francuski rudnici“, no zbog svoje oskudnosti orudnjenjem, vađenje ruda nije dugo trajalo. Zapis o mjestima rudarenja pronađeni su na prvoj geološkoj karti, „Geognostička karta Uskočke i Zagrebačke gore“, izrađenoj 1841. godine od strane J. Kotzke i G. Fallera (Šikić, 1995).

Orešić (1995) proučavao je osnovne značajke režima tekućica porječja Krapine te je utvrdio da je režim Krapine i njenih pritoka kišno-snježni. Također spominje osnivanja vodomjernih postaja na potocima Bistra 1979. i Poljanica 1980. godine koje su aktivne još i danas. Ta dva potoka, uz Novočak i Dubovec, tema su izrade ovog diplomskog rada.

Lozić (2000) je pomoću multivarijetetnog pristupa klasifikaciji reljefa, koji uzima u obzir geomorfološke, pedološke i litološke varijable, uspostavila hijerarhijsku strukturu tipova reljefa cijele Medvednice.

Tomljenović i sur. (2008) obradili su tektonsku evoluciju sjeverozapadnih Dinarida te su došli do zaključka da je do rotacije Medvednice u SI-JZ smjeru pružanja došlo u kasnom paleogenu, a moguće i u prijelazu iz oligocena u miocen. Takva vrsta kretanja znatno je utjecala na njenu morfostrukturu i položaj današnjih slojeva.

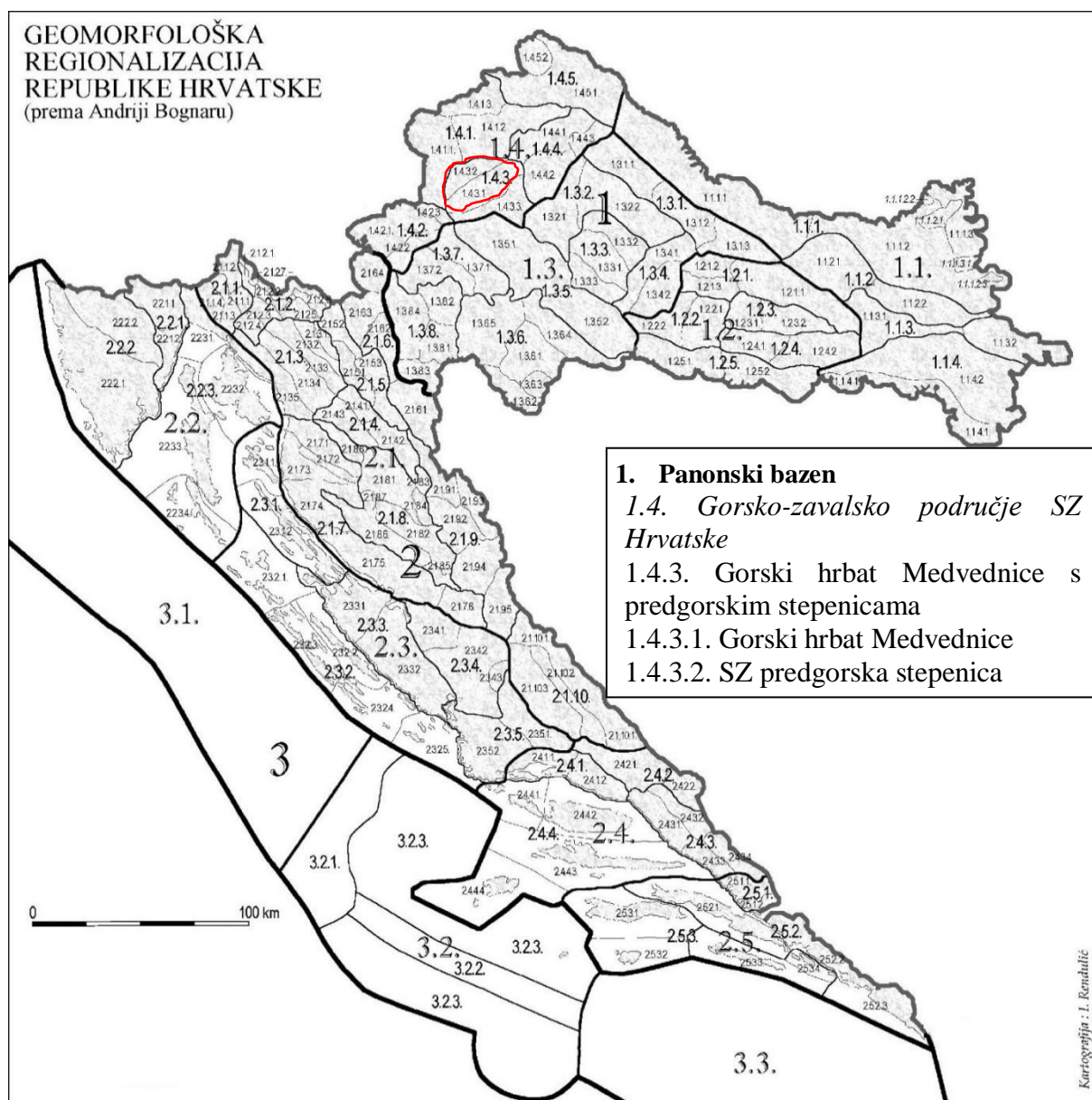
Miliša i sur. (2010) proučavali su destruktivan utjecaj tekućeg otpada iz kamenoloma na biocenu potoka Bistre. Za vađenje dijabaza bilo je potrebno izmijeniti prirodan izgled korita potoka koji se nalazi neposredno uz kamenolom kako bi se formiralo malo umjetno jezero za ispiranje izvađenog materijala. Na taj način došlo je do antropogenog zamuljivanja vodotoka vodenim putem, dok su se dodatne fine čestice praha nakon miniranja prenosile vjetrom do vodotoka.

Matoš i suradnici (2014) objavili su detaljnu morfometrijsku analizu 36 drenažnih bazena medvedničkih potoka, s ciljem da se jednoznačno odvoje tektonski aktivna područja od onih neaktivnih.

Aluvijalnim, odnosno plavinskim lepezama u blizini najviše se bavio Stepišnik (2009, 2010) na području Slovenije. Analizirao je njihovo nastajanje i oblikovanje procesima akumulacije i denudacije te utjecaj njihovih drenažnih bazena na daljnje plavinske transformacije.

### 3. ISTRAŽIVANO PODRUČJE

Tijekom svojih istraživanja, Andrija Bognar (2001) shvatio je važnost individualnog pristupa kompleksnoj regionalizaciji prostora, konkretnije cijele Republike Hrvatske. Do tada se primjenjivao tipološki pristup, gdje su se često područja neusklađenog reljefa grupirala u istu regiju. On je smatrao da su morfostrukturalna, morfogenetska, litološka i orografska obilježja reljefa glavni orijentir u izdvajanju nekog područja kao geomorfološke regije, dok hidrografska mreža služi kao njihova dopuna. Takva klasifikacija područje ovog rada koje pripada Općini Bistra u Zagrebačkoj županiji svrstava u 5 kategorija (Sl. 1.).



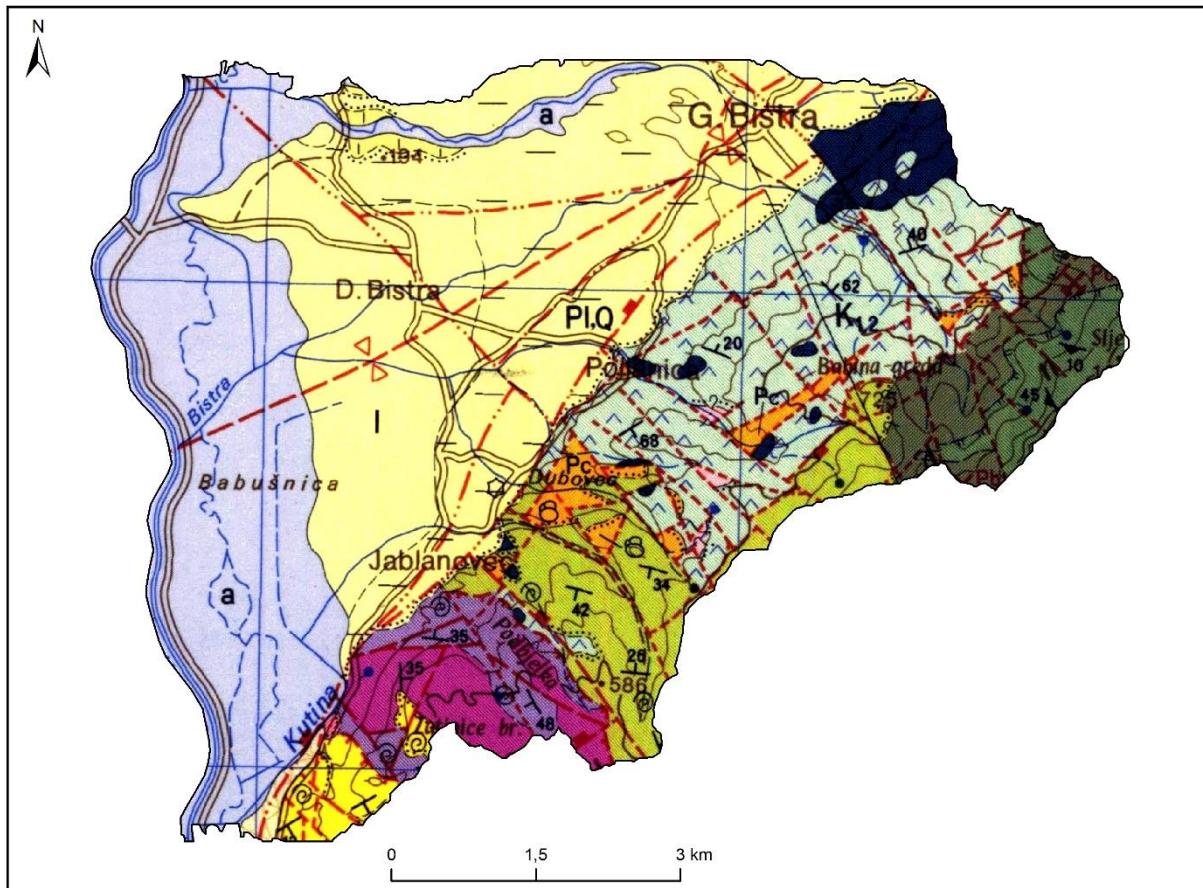
Slika 1. Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. Crvenom bojom označene obje subgeomorfološke regije kroz koje se proteže istraživano područje. Preuzeto i prilagođeno prema Bognar (2001)

Prva je megamakrogeomorfološka regija, gdje Medvednica pripada Panonskom bazenu, velikoj strukturno-geomorfološkoj i geotektonskoj cjelini. Makrogeomorfološki spada u Gorsko-zavalsko područje sjeverozapadne Hrvatske, prostor koji je današnji oblik dobio tijekom neogena i kvartara zahvaljujući alpskoj orogenezi i rasjednoj tektonici tijekom iste. Mezogeomorfološka regija obuhvaća Gorski hrbat Medvednice s predgorskim stepenicama (Bognar, 2001). Najmanja regija proučavanog prostora je subgeomorfološka, gdje se područje ovog rada dijeli na Gorski hrbat Medvednice i sjeverozapadnu predgorsku stepenicu.

Kako bi se u nastavku rada moglo detaljnije analizirati svaki pojedinačni bazen i povući određene paralele u zaključcima, potrebno je prvo sagledati širu sliku istraživanog područja. Ono se, zahvaljujući svojoj reljefnoj heterogenosti, može razdijeliti na tri cjeline – zapadni dio kojeg čine rijeka Krapina i njena aluvijalna ravnica, središnji dio s predgorskom stepenicom te istočni u kojem su se smjestile sjeverozapadne padine Medvednice. Prva spomenuta cjelina pruža se duž krapinske naplavne ravnice čije su naslage holocenske starosti (Sl. 2.). Njen današnji izgled posljedica je dugotrajne akumulacije i erozije materijala koje je rijeka Krapina transportirala zajedno sa svojim pritocima kroz slojeve nepropusnih glina (Šikić, 1995.). Zbog učestalog izlivanja rijeke Krapine iz korita bilo je nužno izgraditi nasip koji bi obližnja naselja štitio od poplava, no to je za sobom povuklo dodatnu problematiku – otežano otjecanje njenih pritoka. Zato su prokopani lateralni kanali koji odvođe vodu prema glavnom riječnom toku (Lukić i Turk 2014.).

Sljedeća cjelina je karika koja spaja zapadni nizinski i istočni strmi reljef, a to je područje sjeverozapadne predgorske stepenice Medvednice. Ona je prožeta pliokvartarnim sedimentima, a miocenski lapori i glinoviti pijesci prisutni su u dublje erodiranim potočnim dolinama. Nešto veća energija reljefa kao i nagibi padina u odnosu na aluvijalnu ravnicu rezultat su oblikovanja fluviudenudacijskim i padinskim procesima (Šikić, 1995.).

Posljednja cjelina obuhvaća najstrmije dijelove sjeverozapadne padine Medvednice. Cijelom svojom dužinom ispresijecana je rasjedima različitih pružanja između kojih se mogu naći sve tri vrste stijena. Od magmatskih su prisutni dijabazi kredne starosti, od sedimentnih pješčenjaci i vapnenci ponajviše također iz razdoblja krede, dok su od metamornih stijena najzastupljeniji zeleni škriljavci iz devona i karbona (Šikić, 1995). Kao i u predjelu predgorskih stepenica, i ovdje su izraženi fluviudenudacijski i padinski procesi, od kojih su najizraženiji klizanje, jaruženje i spiranje tla te pojava vododerina. Taj prostor se ujedno nalazi u sklopu Parka prirode Medvednica (Lukić i Turk 2014).



Legenda:

	Aluvij: šljunci, pijesci, gline		Pješčenjaci, šejli, vapnenci, rožnjaci (apt-turon)
	Kopneni beskarbonatni les: glinoviti silt		Dijabazi i spiliti
	Šljunci, pijesci, gline (plioleistocen)		Pješčenjaci, siltiti, vapnenci, podređeno dolomiti i vapnoviti lapori
	Organogeni i bioklastični vapnenci, pješčenjaci, vapnoviti i glinoviti lapori (gornji torton)		Dolomiti, podređeno vapnenci, lapori, rožnjaci, tufovi i tufiti
	Breče, konglomerati, pješčenjaci, lapori, grebenski i bioklastični vapnenci (paleocen)		Ortometamorfiti: zeleni škriljci, metamorfozirani gabri, dijabazi i doleriti
	Breče, konglomerati, vapnenci, lapori, pješčenjaci (kampan-mastriht)		Parametamorfiti: škriljave grauvake, siltiti, vapnenci, dolomiti, filiti, muskovit-kloritski i kvarc-muskovitski škriljci i dr.
	Os aproksimativno locirane sinklinale i antiklinale, uspravne ili kose		Izvor termalni i mineralni
	Rasjed bez oznake karaktera: osmatran, pokriven, pretpostavljen i fotogeološki osmatran		Relativno spušten blok i relativno kretanje krila rasjeda horizontalnog tipa
	Rasjed nedefinirane starosti sa značajnijom aktivnošću: do srednjeg pliocena; do pleistocena		

Slika 2. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, sjeverozapadne padine Medvednice i porječje rijeke Krapine. Preuzeto i prilagođeno prema Šikić i sur. (1978)



Stijene koje izgrađuju ovo područje uglavnom su vodonepropusne, posjeduju sekundarnu, plitko razvijenu efektivnu poroznost, neujednačenu i površinski ograničenu vodopropusnost te cijedne izvore malog kapaciteta. Zahvaljujući tim karakteristikama, bio je moguć razvoj nadzemne drenažne mreže. Izvori značajnijeg kapaciteta su malobrojni, dok veći vodonosnici ne postoje (Šikić i sur., 1979).

## **D, C?**

Razdoblju devon–karbon pripadaju stijene niskog stupnja metamorfizma, od kojih su najzastupljeniji zeleni škriljavci s određenim obilježjima magmatita, dok su drugi niskometamorfni škriljavci prisutni sa sedimentnim obilježjima. Nastale su djelovanjem metamorfizma pod PT-uvjetima grinšist facijesa do zone gornjih mikašista. Unutar dolomita i dolomitičnih vapnenaca kod Francuskih rudnika (izvorišni dio potoka Bistra) nađeni su galeniti i sfaleriti (Sl. 2.).

## **T<sub>2</sub>**

Stijene srednjeg trijasa sačinjene su od tamnosivih vapnenaca, šejlova, rožnjaka i piroklastita. U potonje spadaju tufovi, čija se akumulacija odvijala u submarinskoj sredini, s istovremenim miješanjem s već istaloženim sedimentima. Njihova promjena rezultirala je stvaranjem nepropusnih agregata minerala glina (Sl. 2.).

## **K<sub>1,2</sub>**

Stijene starosti apt–turon odlikuje tektogenetska povezanost sedimentacije i magmatizma. Usporedno sa sedimentacijom odvijao se magmatizam koji je producirao ultrabazičke peridotite, gabre, dijabaze i spilite. Na taj način došlo je do lomljenja nekoć cjelovite zone vulkanogeno-sedimentnog kompleksa paleozojske kristalinske strukture. Od sedimentnih stijena prisutni su pješčenjaci, šejlovi, lapori i podređeno vapnenci (Sl. 2.).

## **<sup>3,4</sup>K<sub>2</sub><sup>3</sup>**

Sedimenti gornjeg senona transgresivno okružuju paleozojski središnji greben. Sjeverozapadnu padinu Medvednice karakterizira tektonski kontakt gornjosenonskih sedimenata i stijena starije krede, dok prema zapadu imaju tendenciju tonjenja pod navučeni trijas. Najčešće se radi o polimiktnim konglomeratima, ponegdje i brečama. Između njih se nalaze subgrauvakni pješčenjaci i šejlovi (Sl. 2.).



## **Pc**

Paleogenske sedimente tvore sivi i smeđastosivi glinoviti i pjeskoviti lapori koji se izmjenjuju sa subgrauvaknim pješčenjacima. Također su brojni fragmenti raznobojnih rožnjaka. Takve stijene sadrže nesortirane polimiktne konglomerate krupnih valutica, veličina i do 40 cm. Oni su izrazito podložni trošenju zbog slabe kompaktnosti veziva u vidu pješčenjaka i lapora (Sl. 2.).

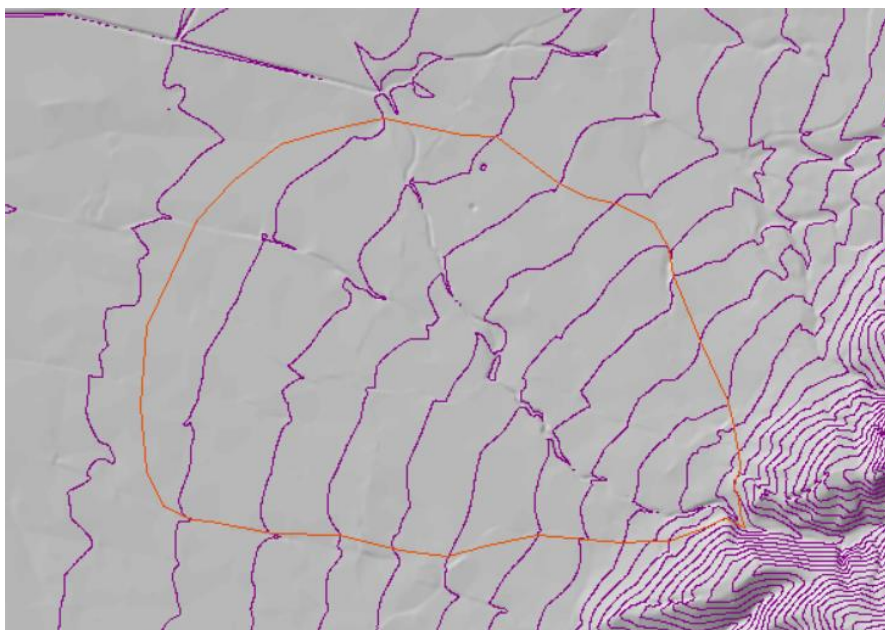
## **Pl, Q**

Slatkovodne levantske naslage potječu od fluvijalno-jezerskih sedimenata molasnog tipa, koji diskordantno naliježu na slojeve kenozoika, mezozoika i paleozoika (Sl. 2.). Predstavljaju ih šljunci, pijesci i gline, a ponegdje i pješčenjaci i konglomerati. Njih pronalazimo u obliku proluvijalnih naplavinskih konusa (Šikić i sur., 1979.).

#### 4. METODE RADA

Prvi korak u izradi ovog rada bio je prikupljanje znanstvene literature, kao i podataka neophodnih za analizu reljefa u programu ArcGIS 10.7., tvrtke ESRI. Od relevantnih podataka odabrani su: Osnovna geološka karta mjerila 1:100 000, List Zagreb L33-80 (Šikić i sur., 1978) dobivena od strane Hrvatskog geološkog instituta, putem WMS-a (*Web Map Service*) u ArcMapu 10.7. učitana topografska karta mjerila 1:25 000 u vlasništvu Geoportala Državne Geodetske Uprave te digitalni model reljefa (DMR) preuzet iz baze prostornih podataka Geografskog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Dobiveni DMR prostorne je rezolucije 5×5 metara, odnosno jedna ćelija obuhvaća 25 m<sup>2</sup> istraživanog područja te ima pripadajući zapis o nadmorskoj visini.

Cilj je bio izdvajanje pojedinačnih drenažnih bazena i njihova daljnja analiza, a preduvjet za generiranje drenažne mreže koja odgovara topografskoj karti je ispravan digitalni model reljefa. U tu svrhu bilo je potrebno prvo „nivelirati“ ćelije DMR-a koje potencijalno odstupaju svojim visinskim vrijednostima od susjednih ćelija, a to se radi pomoću alata *Fill*. Sljedeći korak bilo je definiranje smjera otjecanja za svaku ćeliju DMR-a za koji se upotrebljava alat *Flow direction*, a potom i upotreba alata *Flow accumulation* koji određuje koliko se ćelija odvodnjava u koju ćeliju. Ta tri alata pripadaju skupini *Hydrology* unutar ekstenzije *Spatial Analyst*. Na podlozi dobivenoj alatom *Flow accumulation* definirane su točke kao završeci drenažnih bazena te je upotrijebljen alat *Watershed* za kreiranje bazena pojedinačnog potoka. Plavine su digitalizirane uz pomoć izohipsi, topografske i geološke karte. Na Slici 3. prikazan je primjer digitalizirane plavine Dubovec s izohipsama, ekvidistance 5 metara, na *hillshade* podlozi. Rubovi plavine vektorizirani su na način da prate konusno pružanje izohipsi u odnosu na točku u kojoj završava drenažni bazen, odnosno gdje započinje plavina. Točke pomoću kojih je kreiran poligon postavljene su na mjestima gdje se izohipse „uvijaju“, tvoreći tako poligon u obliku lepeze. Plavina se proteže sve do područja gdje izohipse gube svoj polukružni oblik. Takvi pripremljeni rasterski oblici bili su podloga za daljnje analize.



Slika 3. Digitalizirana plavina potoka Dubovec

Sljedeći korak bila je morfometrijska analiza digitalnog modela reljefa. Ona nam omogućuje kvantitativnu analizu, odnosno raščlambu reljefa na različite veličinske parametre. Prema površini koja se analizira, može se podijeliti na opću (analizira cijelo područje istraživanja) i specifičnu morfometriju (analiziraju se elementi reljefa od interesa). Za opću morfometriju korišteni su alati unutar ekstenzija *3D Analyst* i *Spatial Analyst*, dok su za potrebe specifične morfometrijske analize korišteni i alati ekstenzije *ArcHydro*. Unutar opće morfometrijske analize pomoću ulaznog podatka u obliku DMR-a obrađena su:

1. **Hipsometrijska obilježja reljefa** – područje se razvrštava u visinske kategorije (*Properties – Symbolology – Classified*).
2. **Nagib padina** – predstavlja kut kojeg padina zatvara s horizontalnom ravninom. U tu svrhu korišten je alat *Slope*, koji računa maksimalnu stopu promjene vrijednosti od središnje ćelije prema 8 susjednih (Radoš i sur., 2012).
3. **Ekspozicija padina** – definira se kao orijentacija padine s obzirom na strane svijeta te se kut određuje od pravca sjevera u smjeru kazaljke na satu. Ona je obrađena pomoću alata *Aspect*, a funkcija ekspozicije odnosi se na izračun vrijednosti ekspozicije središnje ćelije u odnosu na 8 susjednih te predstavlja smjer u kojem je okrenuta ploha središnje ćelije (Radoš i sur., 2012).
4. **Vertikalna raščlanjenost reljefa** – prikazuje visinsku razliku između najviše i najniže točke po jedinici površine, najčešće izraženu u  $m/km^2$ . Računa se pomoću

alata *Focal Statistics*, unutar kojeg je potrebno definirati polumjer kruga koji obuhvaća 1 km<sup>2</sup>, a to je 564 metra. Unutar tog kruga alat pronalazi najvišu i najnižu točku te računa razliku njihovih vrijednosti u metrima.

5. **Profilna zakrivljenost** – predstavlja zakrivljenost padina duž linija okomitih na izohipse. Može biti pozitivna (konkavni reljef), negativna (konveksni reljef), dok vrijednost 0 predstavlja pravocrtnu padinu. Korisna je za analiziranje brzine otjecanja vode i brzine kretanja detritusa niz padinu (Radoš i sur., 2012). Dobiva se pomoću alata *Curvature – Profile curvature*. Za plavinske lepeze grafički su prikazani i uzdužni profili dobiveni pomoću digitaliziranja toka kroz lepezu i upotrebe alata *Create i Smooth 3D Line* iz ArcHydro ekstenzije.
6. **Planarna zakrivljenost** – definira se kao zakrivljenost padine u sekanti izohipse okomitoj na smjer najvećeg nagiba. Za razliku od profilne, planarna pozitivna vrijednost predstavlja konveksni reljef, negativna konkavni, dok vrijednost 0 predstavlja pravocrtnu padinu. Ovisno o definiranoj vrsti zakrivljenosti, možemo procjenjivati divergentno i konvergentno otjecanje. Prvo je vezano uz akumulaciju vode, tla ili detritusa, dok je potonje vezano uz procese spiranja, jaruženja i bujičenja (Radoš i sur., 2012). Računa se pomoću alata *Curvature – Planform curvature*.

U sklopu specifične morfometrijske analize obrađeno je nekoliko parametra:

1. **Klasifikacija tokova prema Strahleru** – kako bi svaka grana potoka dobila odgovarajuću brojčanu klasifikaciju, upotrijebljen je alat *Stream Order*. Tako udruženi tokovi prvog reda daju tokove drugog reda, dva toka drugog reda daju tok trećeg reda te tako do posljednjeg reda u porječju. Rasterski oblik podataka pretvoren je u vektorski pomoću alata *Stream to Feature*.
2. **Indeks bifurkacije i prvi Hortonov zakon** – indeks bifurkacije koristi se za analiziranje odnosa brojeva susjednih kategorija po sustavima. On se koristi i u prvom Hortonovom zakonu, koji je ujedno i zakon broja tokova. Indeks bifurkacije računa se pomoću formule:

$$I_b = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

gdje  $I_b$  predstavlja indeks bifurkacije,  $N$  broj tokova, a  $n$  označava kategoriju toka. Indeks bifurkacije ne može se izračunati za posljednji razred istraživog

bazena jer ne postoji iznos sljedećeg toka koji bi se mogao uvrstiti u formulu. Za grafički prikaz prvog Hortonovog zakona bilo je potrebno izračunati realno stanje tokova i usporediti ga s teorijskim modelom. U tu svrhu korištena je formula:

$$\log N_n = (z - n) \log I_b$$

Za teorijski model korišten je srednji indeks bifurkacije, dok je za svaki red toka korišten njegov indeks bifurkacije.

3. **Gustoća drenažne mreže** – odnosno specifična gustoća riječne mreže definira se kao ukupna duljina vodotoka koja je podijeljena s ukupnom površinom bazena. Dobivena je pomoću alata *Kernel density* te se izražava u km/km<sup>2</sup>.
4. **Faktor asimetrije** – prikazuje simetričnost, odnosno zrcalnost lijeve i desne strane drenažnog bazena. Pomoću njega dobivaju se podaci o tome koja je strana slijeva veća u odnosu na drugu, a formula za izračun je:

$$AF = 50 - \left( \frac{A_R}{A_T} \right) \times 100$$

AF je faktor asimetrije, A<sub>R</sub> površina desnog dijela drenažnog bazena, a A<sub>T</sub> predstavlja sveukupnu površinu slijeva. Ako je rezultat manji od 5, tada se radi o simetričnom bazenu. Rezultati između 5 i 10 označavaju blago asimetričan, između 10 i 15 umjereno asimetričan, a veći od 15 su izrazito asimetrični drenažni bazeni (Pérez-Peña i sur., 2010).

5. **Hipsometrijska krivulja i integral** – hipsometrijska krivulja istovremeno prikazuje površinu reljefa koja je denudirana i kojoj tek predstoji faza denudacije, dok hipsometrijski integral odgovara površini ispod krivulje. Za dobivanje hipsometrijskog integrala korištena je formula:

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

gdje Hi predstavlja hipsometrijski integral, H<sub>mean</sub> prosječnu nadmorsku visinu bazena, H<sub>max</sub> najvišu točku, a H<sub>min</sub> najnižu. Hipsometrijska krivulja dobiva se

normaliziranjem vrijednosti površina na x-osi i normaliziranjem vrijednosti visina na y-osi.

- 6. Koeficijent razvijenosti toka** – u sumarnu tablicu uvršten je i koeficijent razvijenosti toka koji je pokazatelj odnosa stvarne duljine tekućice i zračne udaljenosti između izvora i ušća (Riđanović, 1993). Koeficijent se dobiva formulom:

$$KRT = \frac{L}{L_{min}}$$

L je stvarna duljina toka, dok je  $L_{min}$  najkraća udaljenost istog.

- 7. Širina i dužina plavina** – osnovne značajke lepeza izračunate su pomoću alata *Minimum Bounding Geometry*, a za mjerenje je odabran pravokutnik.

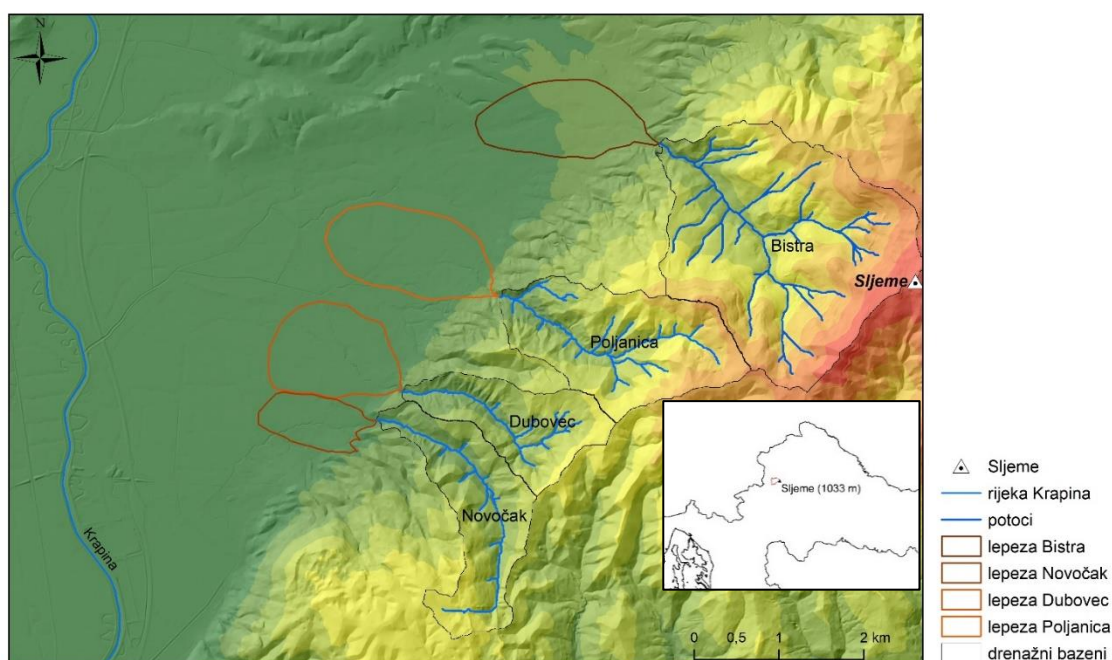
Statističke vrijednosti u vidu prosječnih nadmorskih visina za određene parametre dobivene su pomoću alata *Zonal Statistics as Table*.

Terenski dio rada obuhvatio je jednodnevni obilazak i fotografiranje potoka unutar V-dolina i plavina.

## 5. REZULTATI

### 5.1 OPĆA MORFOMETRIJSKA ANALIZA

Proučavana su četiri drenažna bazena najvećih bistranskih potoka te njihove plavine. Ti bazeni pripadaju potocima Novočak, Dubovec, Poljanica i Bistra koji su se smjestili na sjeverozapadnim padinama Medvednice (Sl. 4.). Svojim položajem pripadaju lijevim pritokama rijeke Krapine u njenom donjem dijelu toka, neposredno prije njenog ušća u rijeku Savu. Nastavno na drenažne bazene pružaju se njihove plavinske lepeze te zajedno s njima zauzimaju prostor od 18,61 km<sup>2</sup> (Tab. 1.). Pružanje bazena okomito je na smjer pružanja Medvednice te ju sijeku u smjeru jugoistok – sjeverozapad, tako tvoreći disecirani, rebrasti oblik reljefa.



Slika 4. Prostorni obuhvat istraživanog područja

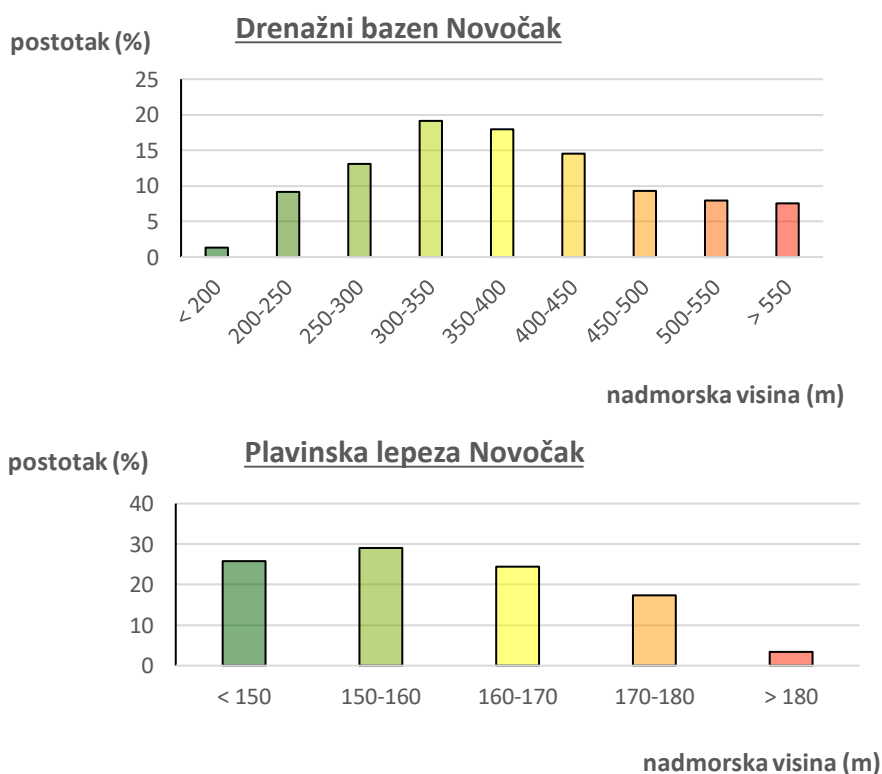
Tablica 1. Nazivi drenažnih bazena i plavina te njihove površine

drenažni bazen	površina (km <sup>2</sup> )	plavina	površina (km <sup>2</sup> )
Novočak	2,25	Novočak	0,64
Dubovec	1,72	Dubovec	1,39
Poljanica	3,06	Poljanica	1,64
Bistra	6,52	Bistra	1,39

### 5.1.1. Hipsometrija

Za detaljnije proučavanje hipsometrije pojedinog bazena i njihovih plavina, za svaki od njih je napravljena odgovarajuća analiza s pripadajućim razredima. Drenažni bazen potoka Novočaka proteže se kroz 403 metra nadmorske visine – najniža točka je na 183 metra, dok je najviša na 586 metara. Shodno tome, definirano je 9 hipsometrijskih razreda (Sl. 5.), ekvidistance 50 metara. Najveći dio prostora nalazi se u središnjem hipsometrijskom pojasu koji obuhvaća 300 do 450 metara nadmorske visine, čineći tako 51,63% sveukupne površine bazena, a prosječna visina iznosi 379 metara. Razred s najmanjim prostornim obuhvatom je prvi, nadmorskih visina do 200 metara, a nalazi na prijelazu u plavinsku lepezu.

Plavinska lepeza potoka Novočaka započinje na 190 metara nadmorske visine te završava na 141 metru, čineći raspon od 49 metra. U tu svrhu definirano je 5 hipsometrijskih razreda (Sl. 5.), ekvidistance 10 metara. S porastom nadmorske visine, udio površine u pojedinim razredima se smanjuje. Tako se 29,04% sveukupne površine lepeze nalazi u hipsometrijskom razredu od 150 – 160 metara, a prosječna visina joj je 159 metra. Najmanji razred je ujedno i najviši, iznad 180 metra nadmorske visine, koji zauzima samo 3,39% površine.

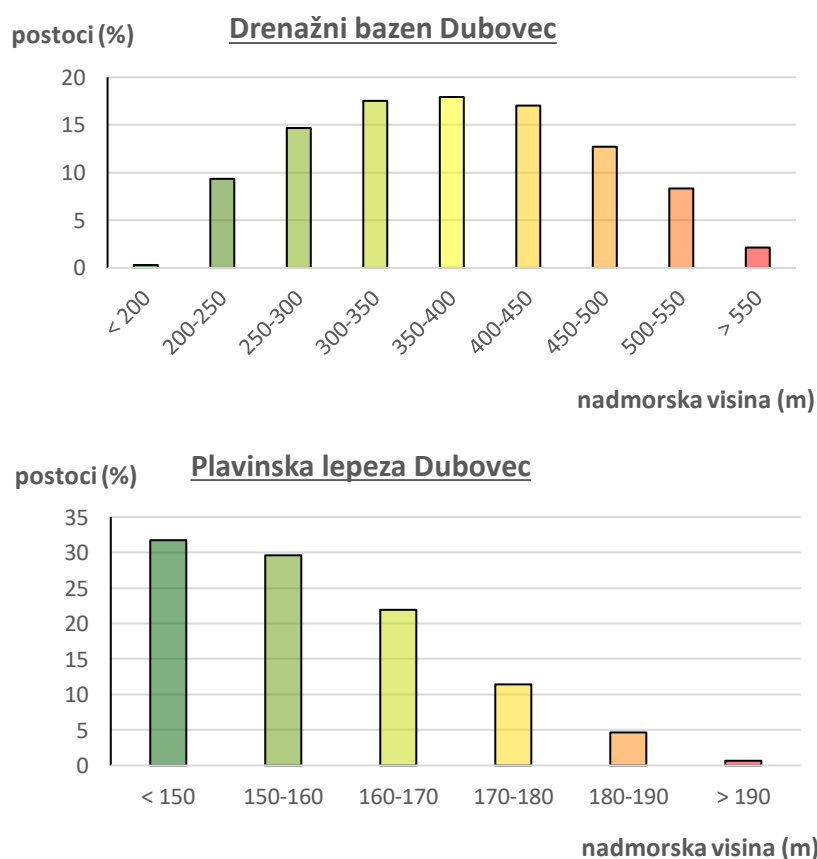


Slika 5. Hipsometrijski razredi drenažnog bazena i plavinske lepeze Novočak



Drenažni bazen potoka Dubovca vrlo je sličan prethodno opisanom bazenu. Slijev potoka Dubovca prostire se kroz 393 metra nadmorske visine – od najniže točke na 191 metru do najviše na 584 metra. Također je definirano 9 hipsometrijskih razreda (Sl. 6.), ekvidistance 50 metara. Čak 52,49% sveukupne površine nalazi se u središnjem intervalu između 300 i 450 metara nadmorske visine, s prosječnom visinom od 375 metara. Razred s najmanjim prostornim obuhvatom je prvi, nadmorskih visina manjih od 200 metara, a nalazi na kontaktu bazena i pripadajuće lepeze.

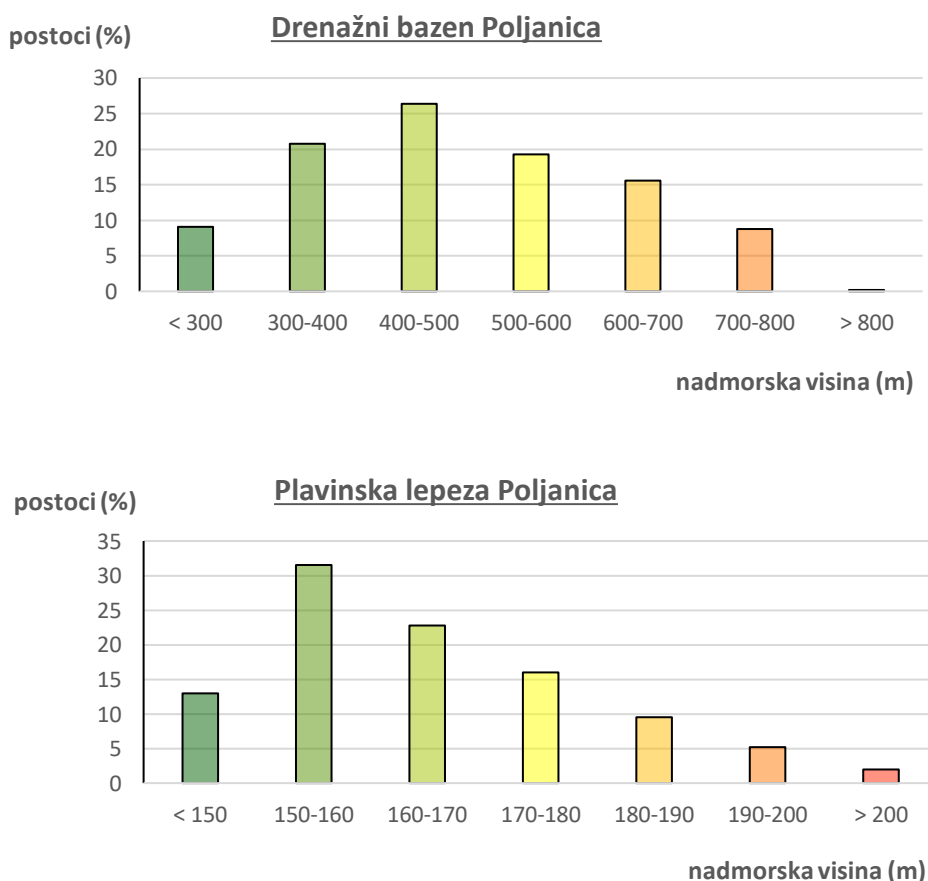
Plavinska lepeza potoka Dubovca čini pojas od 141 metra pa do 196 metara nadmorske visine, što je raspon od 55 metra. Shodno tome, definirano je 5 hipsometrijskih razreda (Sl. 6.), ekvidistance 10 metara. Najveći dio površine lepeze nalazi se ispod 150 metara (31,73 %), dok je prosječna visina 158 metara. S višim hipsometrijskim razredima površinski udio se smanjuje, te se tako iznad 190 metara nalazi samo 0,66% površine.



Slika 6. Hipsometrijski razredi drenažnog bazena i plavinske lepeze Dubovec

Porječje potoka Poljanica započinje na 812 metara nadmorske visine i spušta se sve do 209 metara, tvoreći visinsku razliku od 603 metra. Ustanovljeno je 7 hipsometrijskih razreda (Sl. 7.), ekvidistance 100 metara. Najveća površina porječja nalazi se u rasponu između 400 i 500 metara (26,38%), a slijede ga niži razred s 20,76% te viši s 19,26%. Prosječna visina iznosi 488 metara. Najmanju površinu zauzimaju nadmorske visine iznad 800 metara, odnosno 0,19% sveukupne površine nalazi se na području poznatog Bistranskog sedla.

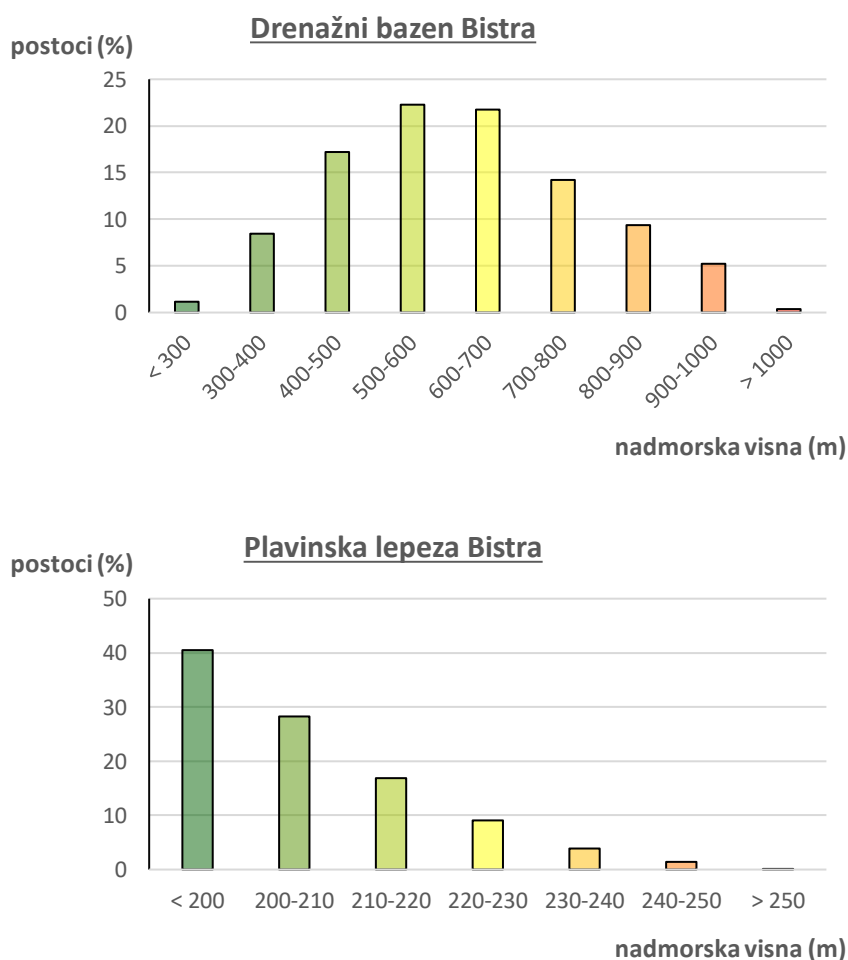
Na Slici 7. prikazano je i 7 hipsometrijskih razreda poljaničke plavinske lepeze. Ona započinje na 211 metara te se spušta sve do 144 metara nadmorske visine, što ju čini visokom 67 metara. Najveći površinski udio nalazi se u razredu od 150 do 160 metara (31,53%), s prosječnom visinom lepeze od 165 metara. Svaki sljedeći razred obuhvaća sve manju površinu prostora, te se tako između 160 i 170 metara nalazi 22,79% površine lepeze, između 170 i 180 metara 16% površine, dok 1,97% površine nalazimo na visinama iznad 200 metara.



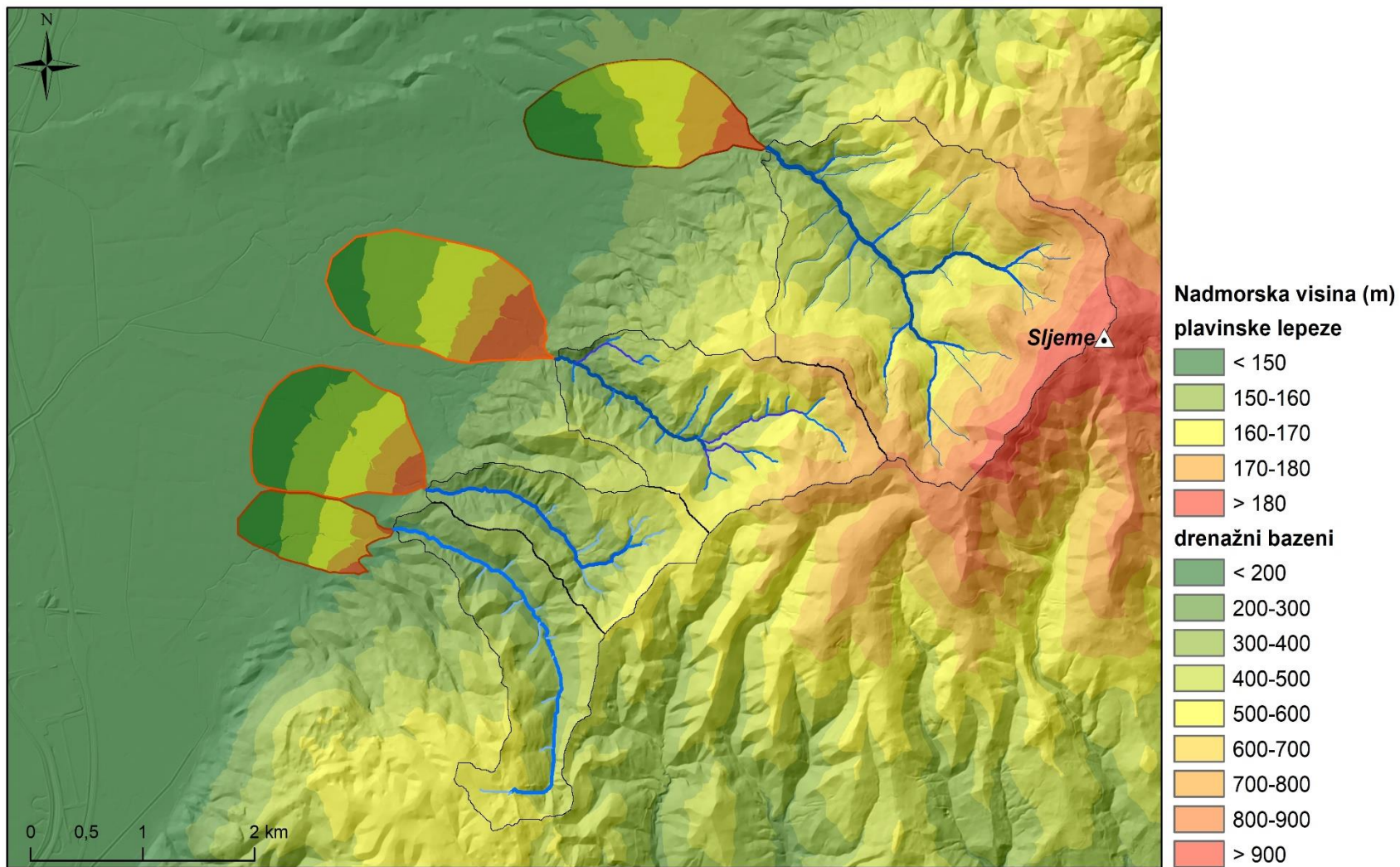
Slika 7. Hipsometrijski razredi drenažnog bazena i plavinske lepeze Poljanica

Drenažni bazen potoka Bistra pruža se na najvišim nadmorskim visinama (Sl. 9.). Započinje na samom vrhu Medvednice, na 1033 metra nadmorske visine te se spušta do 248 metara, čineći visinsku razliku od 785 metara. Prosječna visina bazena je 614 metara. Njena hipsometrija analizirana je kroz 9 hipsometrijskih razreda (Sl. 8.), gdje je ustanovljeno da se najveći dio površine bazena nalazi na 500 do 600 metara (22,27%), a prati ga sljedeći visinski razred s 21,75% sveukupne površine. Najmanji razredi su oni krajnji – 1, 16% površine se nalazi ispod 300 metara, a 0,37% se uzdiže iznad 1000 metara.

Njezina plavina započinje na 251 metru i spušta se sve do 176 metara, što je interval od 75 metara. Prosječna visina plavine je 204 metra. Ona je podijeljena u 7 hipsometrijskih razreda (Sl. 8.), visinske razlike 10 metara. Uočeno je da je najveća površina lepeze unutar razreda ispod 200 metara (40,50%), dok se s povišenjem nadmorske visine udjeli gotovo eksponencijalno smanjuju te posljednji razred iznad 250 metara obuhvaća 0,01% površine lepeze.



Slika 8. Hipsometrijski razredi drenažnog bazena i plavinske lepeze Bistra

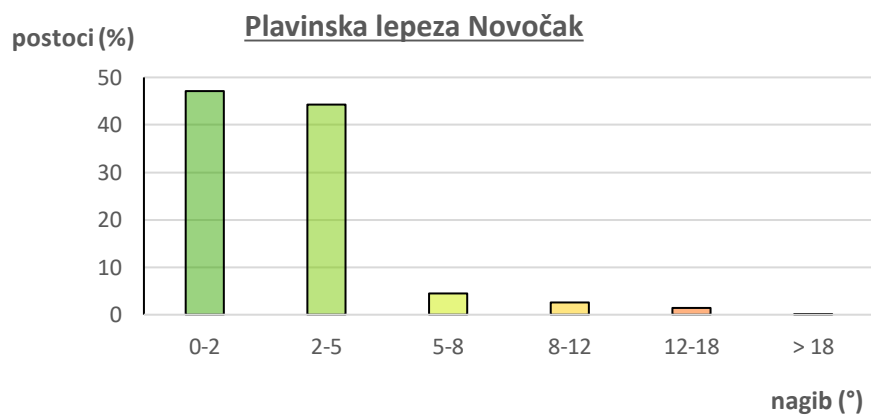
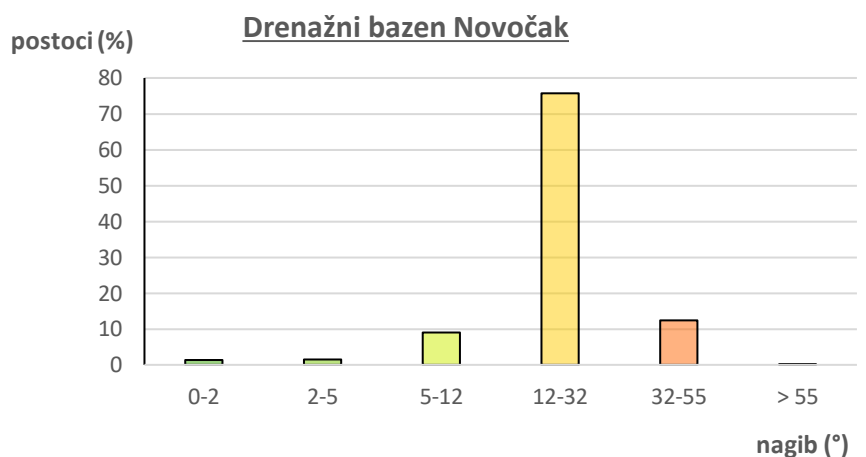


Slika 9. Hipsometrijska karta drenažnih bazena i plavinskih lepeza

### 5.1.2. Nagibi

Uvid u prostorni raspored nagiba i raspodjelu unutar samih razreda olakšava razumijevanje morfostrukturnih, denudacijskih i akumulacijskih procesa koji su se događali na tom području. Zato je definirano 6 standardnih razreda nagiba padina za sve drenažne bazene te 6 modificiranih za njihove plavine. Raspon nagiba drenažnog bazena Novočak kreće se od 0° pa sve do 61°. Padine koje imaju nagib između 12° i 32° zauzimaju čak 75,72% sveukupne površine (Sl. 10.) te je prosječni nagib padina V-doline (Sl. 33.) 23°. Vrlo strmom terenu, nagiba između 32° i 55° pripada 12,40% područja, dok najmanji razred s nagibom većim od 55° zauzima 0,01% područja. On se nalazi na izvorišnom dijelu potoka Novočak.

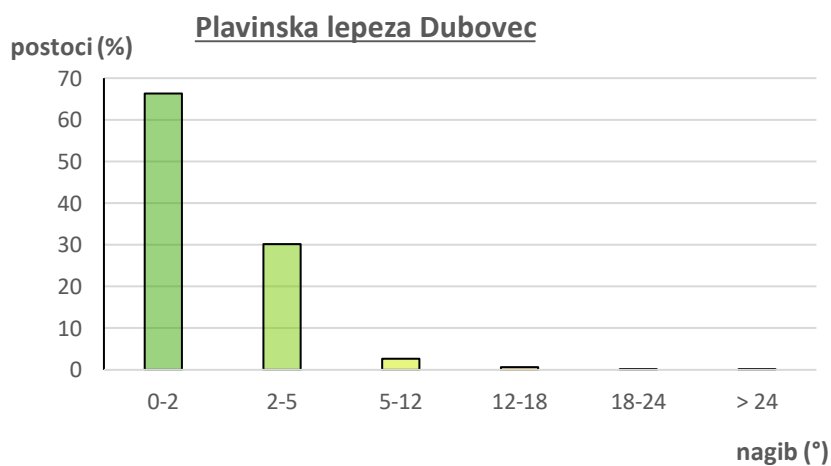
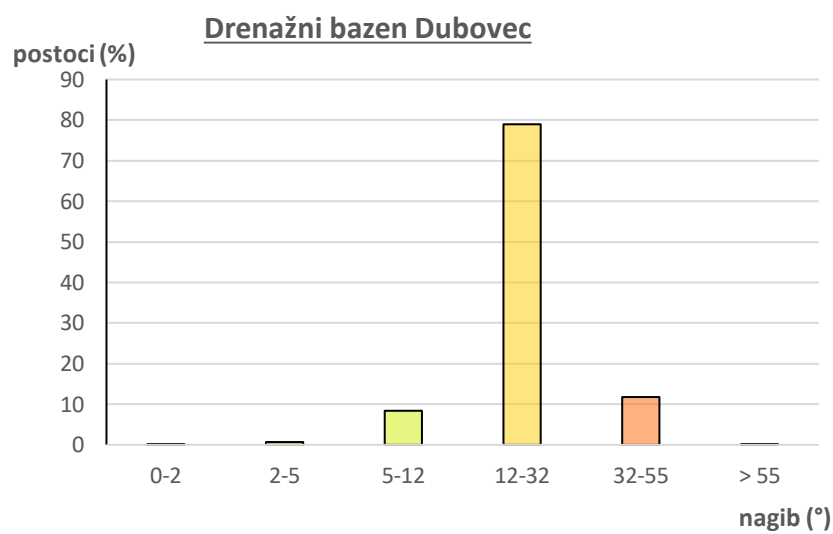
Plavinska lepeza Novočak s rasponom od 0° do 23° ima prosječan nagib od 3°. Najveći udio površine (47,12%) nalazi se na ravnici, nagiba do 2°, a slijedi ga razred s nagibom od 2° do 5° s 44,28% sveukupne površine (Sl. 10.). Veći nagibi nalaze se unutar korita potoka (Sl. 13.)



Slika 10. Razredi nagiba drenažnog bazena i plavinske lepeze Novočak

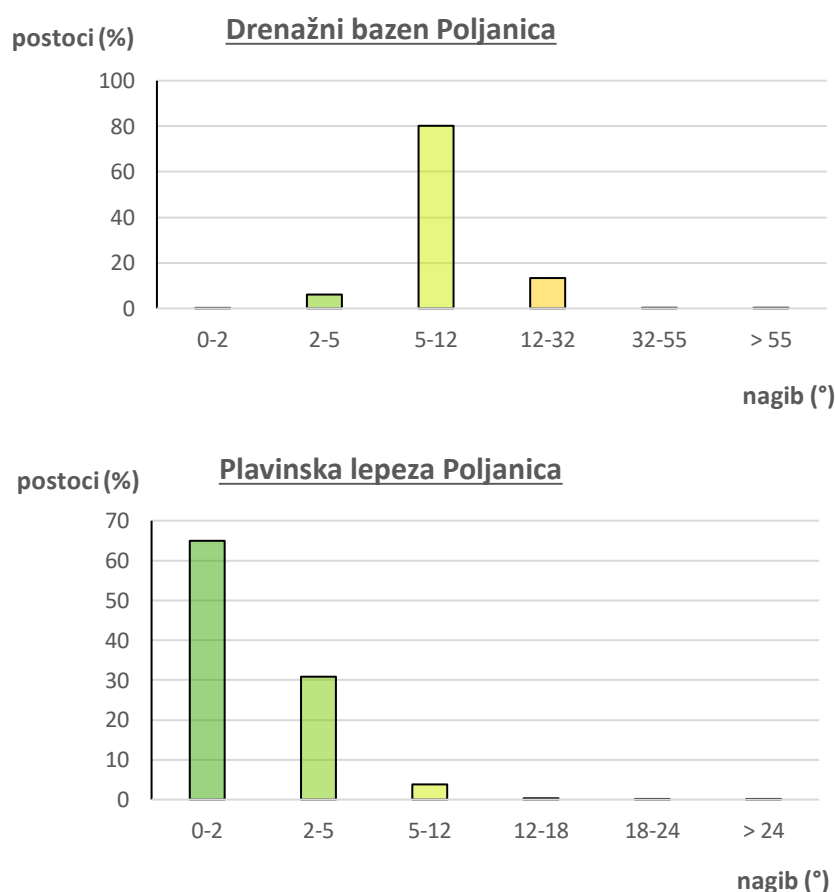
Slijev potoka Dubovca ima prosječan nagib od 23°, a interval je između 0° i 58°. Kao i kod potoka Novočaka, čak 78,97% dubovečkih padina ima nagib između 12° i 32° (Sl. 11.). Drugi razred po površinskoj zastupljenosti je nagiba između 32° i 55° s udjelom od 11,78%. Najmanji dio površine je onaj najstrmiji, nagiba većeg od 55°, sa samo 0,01% površine.

Plavinske padine svojim padom kreću se od 0° do 30°, prosječnog nagiba od 3°. 66,31% površine lepeze ima nagib manji od 2°, a 30,18° ima nagib između 2° i 5°. Najmanje padina ima nagib veći od 24°, odnosno 0,03% sveukupne površine, dok se srednji razredi nagiba pružaju duž obala potoka.



Slika 11. Razredi nagiba drenažnog bazena i plavinske lepeze Dubovec

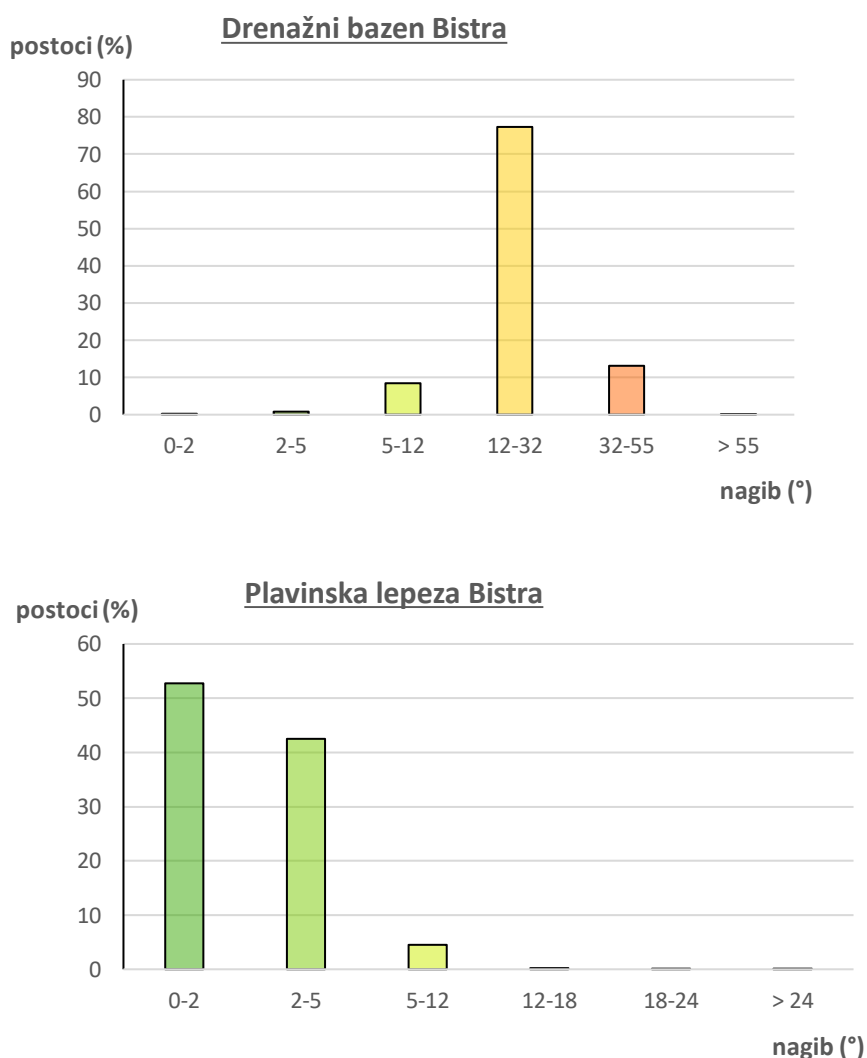
Porječje potoka Poljanica ima nagibe između  $0^\circ$  i  $55^\circ$ , dok prosječni nagib iznosi  $24^\circ$ . Najveći dio padina (80,20%) se smatra jako nagnutim terenom (Sl. 12.), nagiba između  $5^\circ$  i  $12^\circ$ , a slijedi ga sljedeći razred, nagiba do  $32^\circ$ , s 13,32% sveukupne površine, vezanih poglavito uz vršne dijelove grebena, dok je manji dio pri dnu V-dolina (Sl. 35.). Nagibi iznad  $32^\circ$  zauzimaju najmanji dio prostora, samo 0,02%. Nastavno na njega, plavinska lepeza ima raspon nagiba od  $0^\circ$  do  $28^\circ$ , s prosječnim nagibom od  $2^\circ$ . Najveći dio njene površine nagiba je do  $2^\circ$ , odnosno 64,95% (Sl. 12.), a blago nagnuti teren, nagiba do  $5^\circ$ , zauzima 30,84% površine. Najveći nagibi zauzimaju samo 0,01% površine, a protežu se prema njezinom vršnom dijelu. Nagibi između  $5^\circ$  i  $24^\circ$  nalaze se duž obale potoka.



Slika 12. Razredi nagiba drenažnog bazena i plavinske lepeze Poljanica

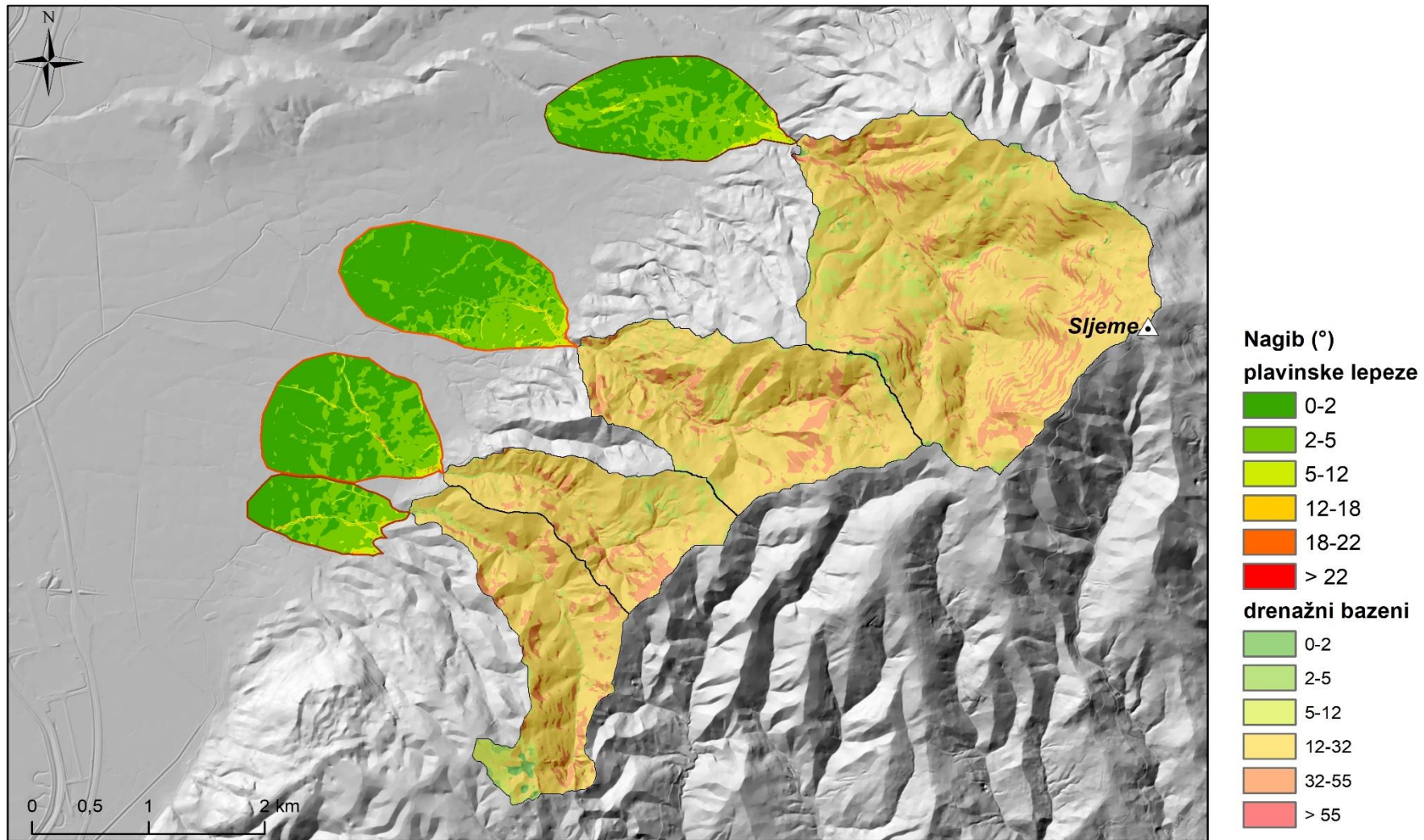
Drenažni bazen potoka Bistra većinski ima jako nagnuti teren – prosječni nagib iznosi 23°, a interval iznosi od 0° do 68°. Padine nagiba između 12° i 32° zauzimaju 77,32% sveukupne površine, dok se padine do 55° nalaze na 13,13% površine (Sl. 13.). Samo 0,04% površine nalazi se na padinama nagiba većih od 55°.

Plavinska lepeza Bistra (Sl. 36.) većinski je nagnuta do 2°, odnosno 52,74% njene površine ima toliki nagib. Prosječni nagib iznosi 2°, dok je maksimalni nagib 25°. Drugi po veličini razred obuhvaća padine nagiba do 5°, to jest 42,50% površine plavine. Najmanji površinski udio imaju nagibi veći od 24°, s manje od 0,01%. Ostali razredi nagiba karakteristični su za obalne dijelove potoka (Sl. 14.).



Slika 13. Razredi nagiba drenažnog bazena i plavinske lepeze Bistra





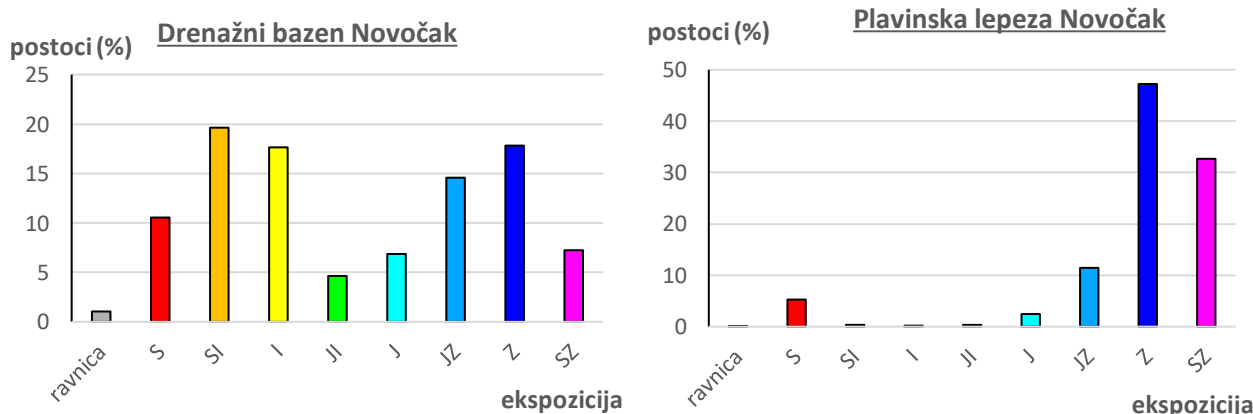
Slika 14. Karta nagiba drenažnih bazena i plavinskih lepeza

### 5.1.3. Ekspozicija

Orijentacija padina ima značajan utjecaj na oblikovanje reljefa, budući da padine izložene različitim smjerovima primaju varijabilnu količinu kratkovalnog zračenja (Šegota i Filipčić, 1996). Ovo zračenje dalje utječe na karakteristike klimatskih elemenata, koji djeluju kao egzogeni čimbenici u oblikovanju geomorfoloških oblika. Povećano kratkovalno zračenje na jugozapadnim, južnim i jugoistočnim padinama znatno utječe na povećanu evapotranspiraciju i često rezultira isušivanjem tokova. Posljedica toga je smanjenje brojnosti vegetacije, čiji nedostatak pogoduje isušivanju tla i ubrzava površinsko otjecanje vode. Kao krajnji rezultat dolazi do intenziviranja procesa denudacije. Na suprotnim, prema sjevernom kvadrantu okrenutim padinama, situacija je obrnuta – povećana količina vlage pogoduje bujanju vegetacije i očuvanju tla (Radoš i sur., 2012).

Ekspozicija je podijeljena u 9 razreda, 8 glavnih i sporednih strana svijeta te područje ravnice (Sl. 15.). Lijeve padine V-doline potoka Novočaka najvećim su dijelom orijentirane prema sjeveroistoku i istoku (37,27% sveukupne površine). Prema zapadu i jugozapadu je orijentirana desna obala potoka (32,39% sveukupne površine). Ostale ekspozicije se nalaze na padinama pritoka koje se ulijevaju u glavni tok, a razred s najmanje sveukupne površine (1,05%) nema orijentaciju (Sl. 15.).

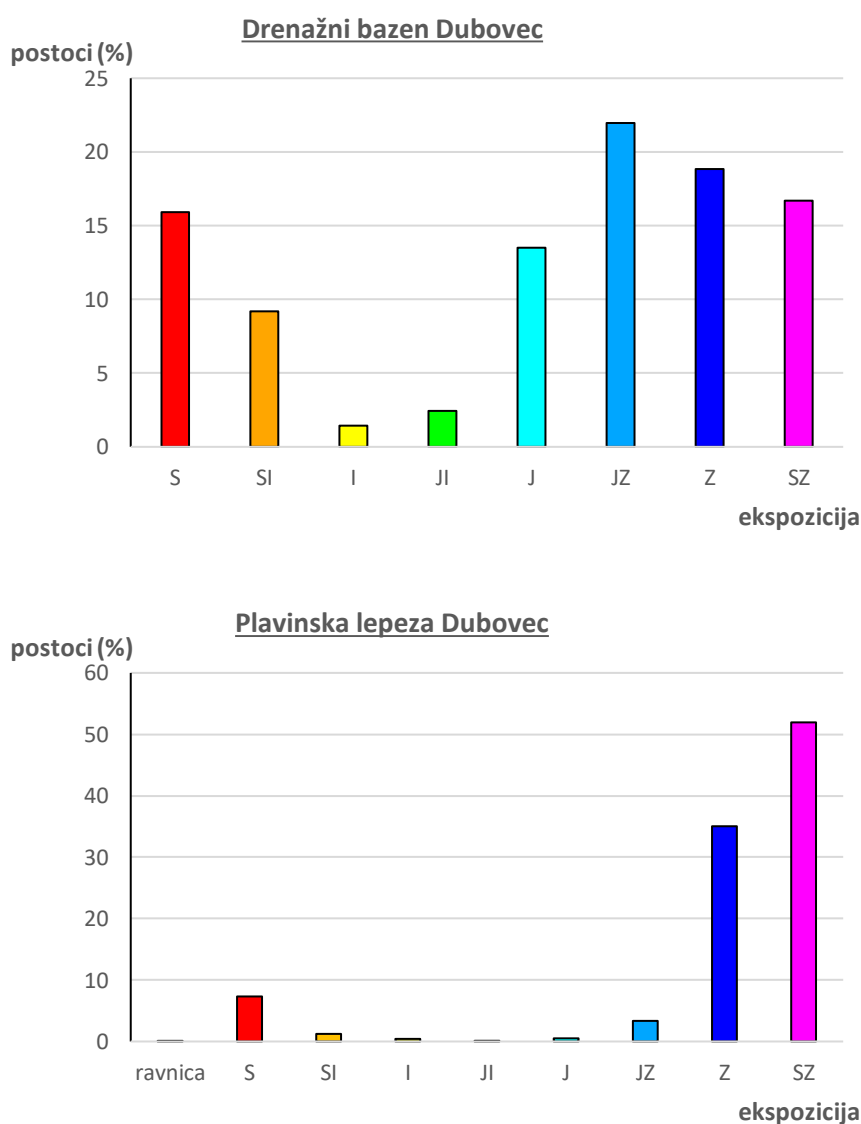
Plavinska lepeza većinski se pruža u smjeru zapada (47,23% sveukupne površine), a slijedi ju orijentacija prema sjeverozapadu s 32,67% površine. Najmanje su zastupljene ekspozicije prema istočnom kvadrantu - 0,89% sveukupne površine je orijentirano prema sjeveroistoku, istoku i jugoistoku (Sl. 15.).



Slika 15. Razredi ekspozicija drenažnog bazena i plavinske lepeze Novočak

Područje bazena potoka Dubovec najviše je orijentirano prema zapadnom kvadrantu – jugozapadne padine zauzimaju 21,97% sveukupne površine, zapadne 18,84% te sjeverozapadne 16,70%, a nalaze se na desnoj strani V-doline (Sl. 34.) samog potoka. Najmanje zastupljene su padine istočne ekspozicije koje se prostiru na 1,44% sveukupne površine (Sl. 16.).

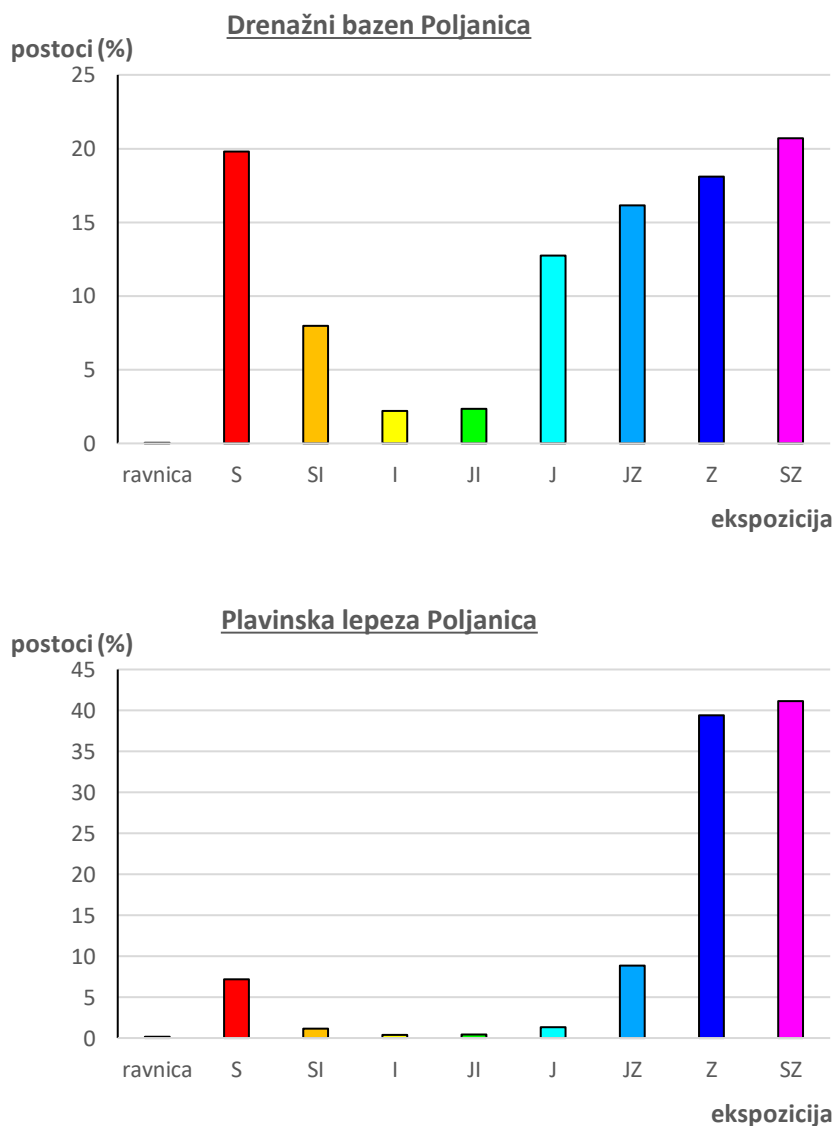
Prostor padinske lepeze najvećim je dijelom okrenut prema sjeverozapadu (51,59% površine). Padine koje su orijentirane prema zapadu čine 35,04% sveukupne površine, dok ravnice bez orijentacije zauzimaju samo 0,05% površine (Sl. 16.).



Slika 16. Razredi ekspozicija drenažnog bazena i plavinske lepeze Dubovec

Slijevno područje potoka Poljanica pretežito je orijentirano prema sjeverozapadu – padine te ekspozicije čine 20,70% površine te se dominiraju desnom stranom V-doline, a slijede ga razredi sjeverne orijentacije s 19,80% na lijevoj strani doline te zapadne s 18,10% površine. Područje ravnice zastupljeno je samo s 0,01% (Sl. 17.).

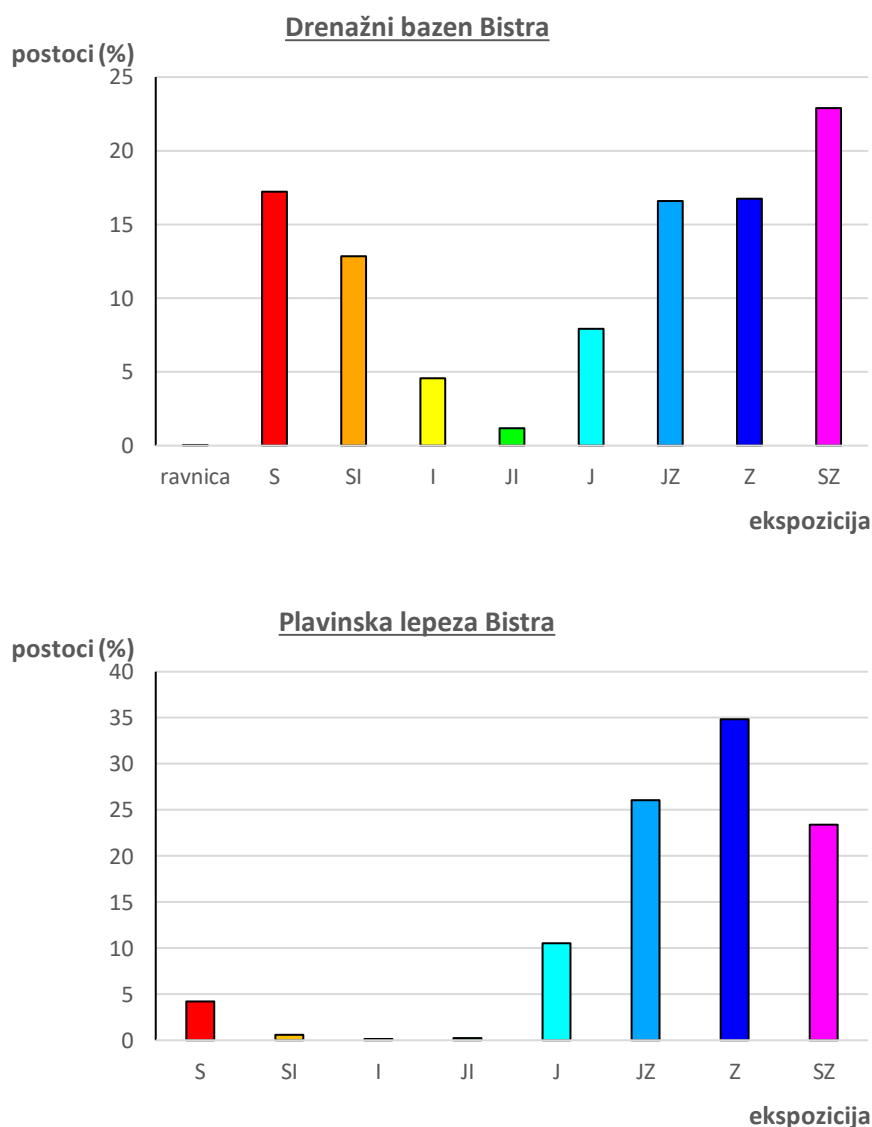
Padine lepeze Poljanice spuštaju se usporedno s tokom te su poglavito sjeverozapadne orijentacije (41,13% sveukupne površine). Na nižim nadmorskim visinama najviše su zastupljene ekspozicije prema zapadu sa 39,40% površine (Sl. 17.).



Slika 17. Razredi ekspozicija drenažnog bazena i plavinske lepeze Poljanica

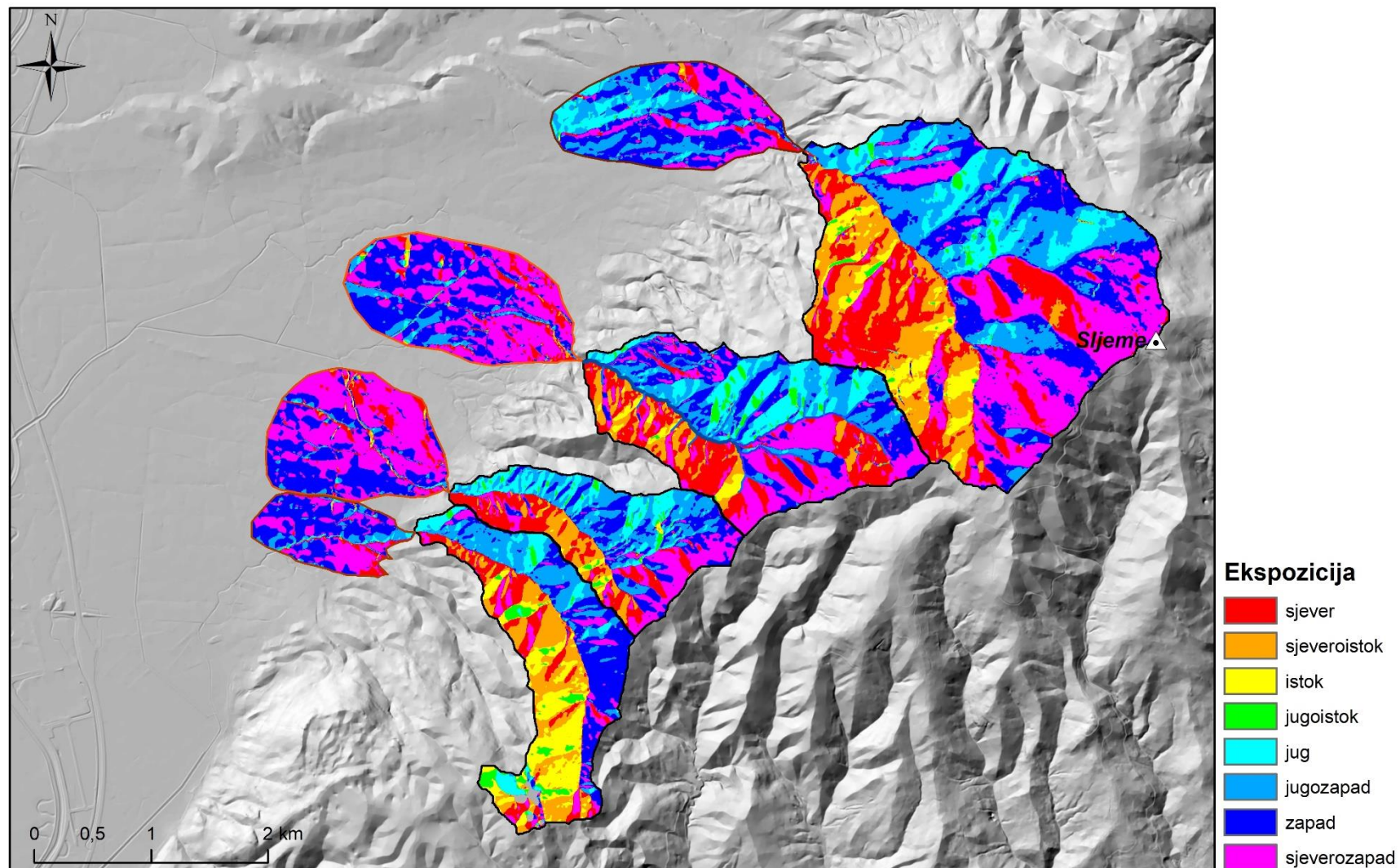
Zastupljenost ekspozicija drenažnog bazena Bistra slične su onima bazena Poljanica – sjeverozapadne padine prekrivaju 22,89% sveukupne površine, sjeverne čine 17,22% površine, a zapadne 16,75%. Najmanje su zastupljene ravnice s 0,02% sveukupne površine (Sl. 18.).

Njena plavina pretežito se spušta prema zapadu – padine te orijentacije čine 34,84% sveukupne površine na nižim nadmorskim visinama, a slijede ih sjeverozapadne orijentacije na većim nagibima (Sl. 19.). Najmanje se pružaju u smjeru istočnog kvadranta – padine sjeveroistočne, istočne i jugoistočne orijentacije zauzimaju 0,97% površine.



Slika 18. Razredi ekspozicija drenažnog bazena i plavinske lepeze Bistra



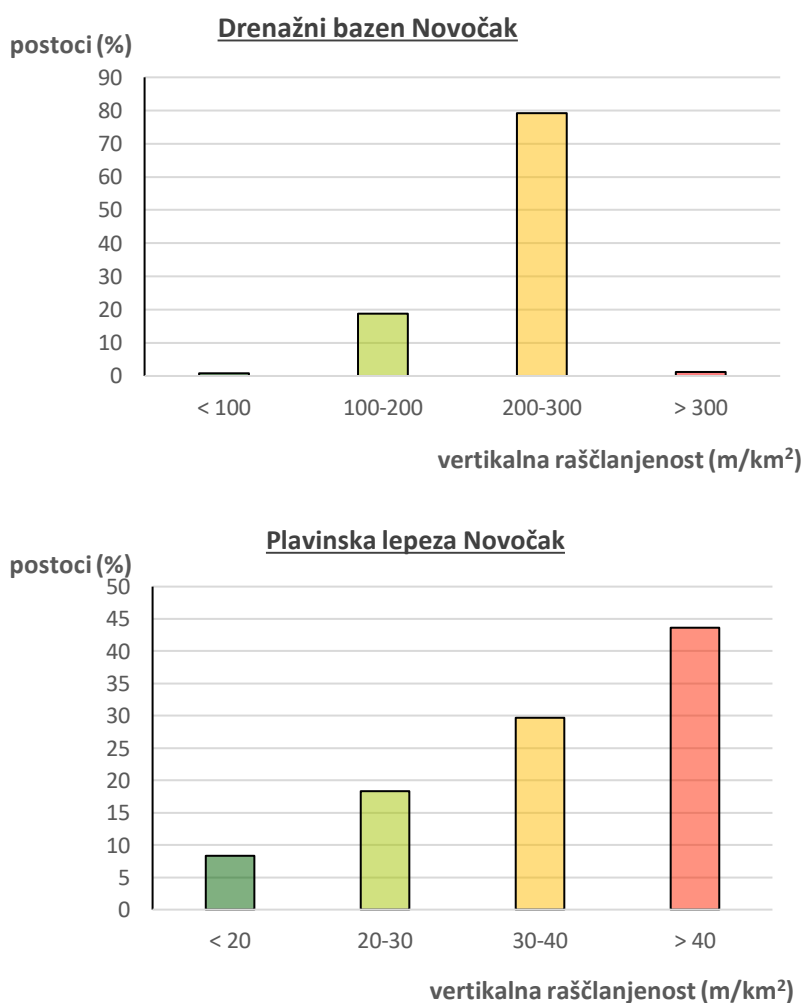


Slika 19. Karta ekspozicija drenažnih bazena i plavinskih lepeza

#### 5.1.4. Vertikalna raščlanjenost

Definirana i kao energija reljefa, vertikalna raščlanjenost indikator je specifičnosti terena (litologije, količine vode na tom području itd.) i može služiti kao parametar intenziteta egozgenih procesa (Lozić, 1995). Reljef drenažnog bazena Novočak ima minimum energije u iznosu od  $61,78 \text{ m/km}^2$ , dok mu je maksimum na  $308,46 \text{ m/km}^2$ . Srednja vrijednost vertikalne raščlanjenosti je  $234,99 \text{ m/km}^2$ , što spada u područje umjereno raščlanjenog reljefa. Gotovo 80% područja nalazi se u zoni raščlanjenost između 200 i  $300 \text{ m/km}^2$  (Sl. 20.), dok se najmanji dio reljefa svrstava u slabo raščlanjen reljef.

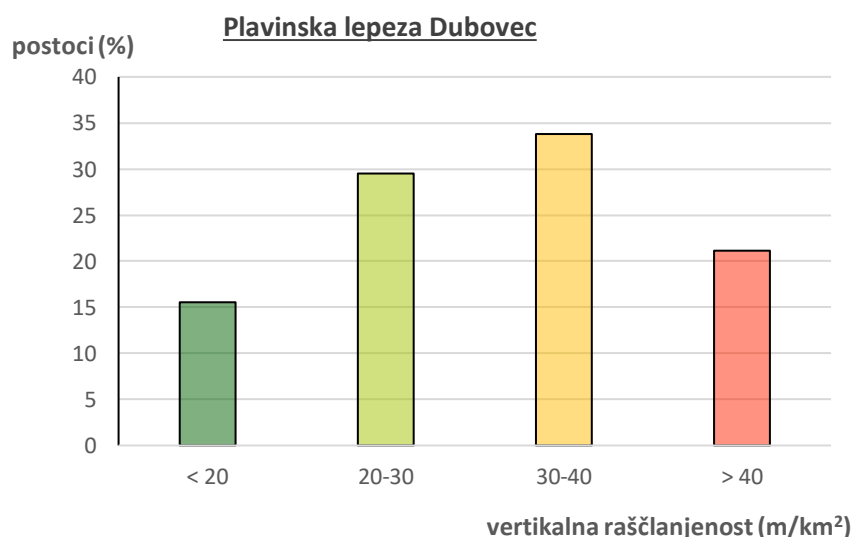
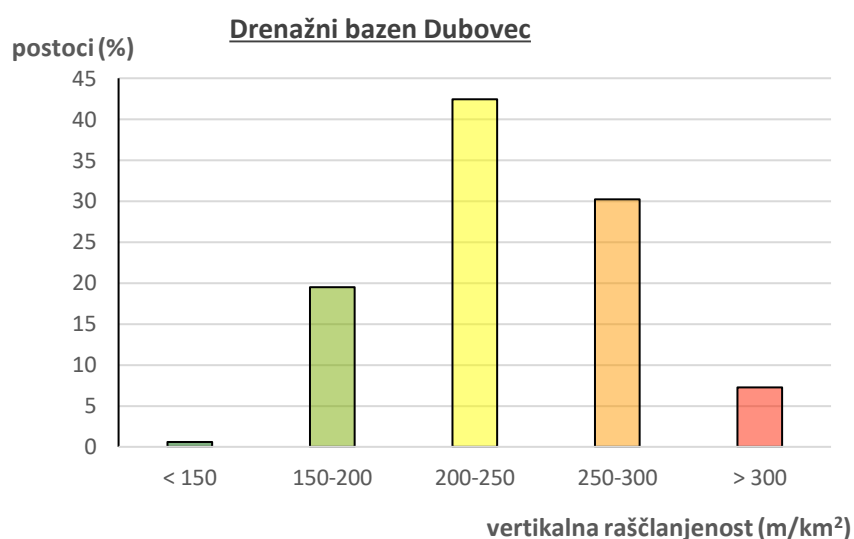
Plavinska lepeza Novočak ima puno niže vrijednosti razlika u visinama na jedinici površine. Najmanji iznos raščlanjenosti je  $12,91 \text{ m/km}^2$ , dok je najveći  $48,25 \text{ m/km}^2$ . Prosječna vrijednost od  $36,47 \text{ m/km}^2$  definira ovu plavinu kao slabo raščlanjen reljef. Najveći dio područja ima vrijednost energije veću od  $40 \text{ m/km}^2$  (43,64% površine), dok najmanji prostor zauzima vertikalna raščlanjenost manja od  $20 \text{ m/km}^2$  (8,33%).



Slika 20. Razredi vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena i plavinske lepeze Novočak

Vrijednosti vertikalne raščlanjenosti reljefa drenažnog bazena Dubovec kreću se od 130,1 m/km<sup>2</sup> do 321,81 m/km<sup>2</sup>, s prosječnom vrijednosti u iznosu od 238,6 m/km<sup>2</sup>, što područje ovog bazena čini umjereno raščlanjenim reljefom. Najveća površina bazena ima energiju reljefa između 200 i 250 m/km<sup>2</sup> (42,44%), dok samo 0,59% prostora ima vrijednosti ispod 150 m/km<sup>2</sup> (Sl. 21.).

Plavinska lepeza Dubovec ima maksimalnu energiju u iznosu od 47,77 m/km<sup>2</sup>, a najmanja vrijednost je 12,89 m/km<sup>2</sup>. Prosječna vertikalna raščlanjenost je 30,97%, što ovaj reljef čini prijelaznim iz slabo raščlanjenih ravnica u slabo raščlanjeni reljef. Najveći dio površine nalazi se unutar intervala od 30 do 40 m/km<sup>2</sup>.

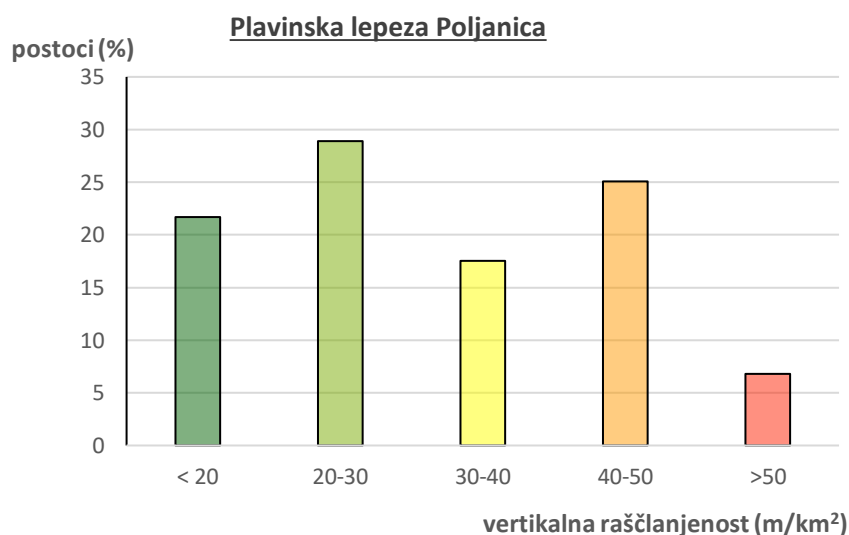
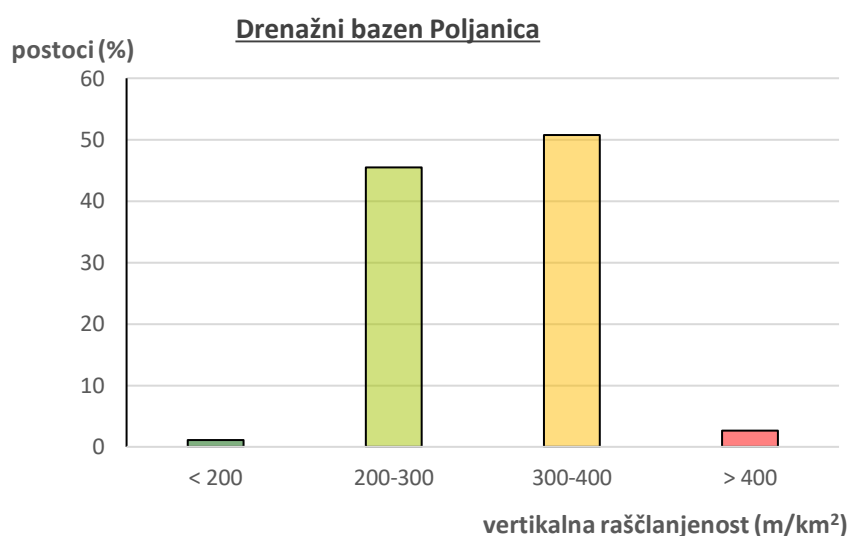


Slika 21. Razredi vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena i plavinske lepeze Dubovec



Drenažni bazen Poljanica ima prosječnu vrijednost energije reljefa u iznosu od 303,32 m/km<sup>2</sup>, čineći ga tako izrazito raščlanjenim reljefom. Maksimalna vrijednost je 412,72 m/km<sup>2</sup>, dok minimalna iznosi 159,38 m/km<sup>2</sup>. Površina područja u iznosu od 50,76% se nalazi u rasponu od 300 do 400 m/km<sup>2</sup> (Sl. 22.), dok je najmanja površina s iznosom manjom od 200 m/km<sup>2</sup> (1,11%).

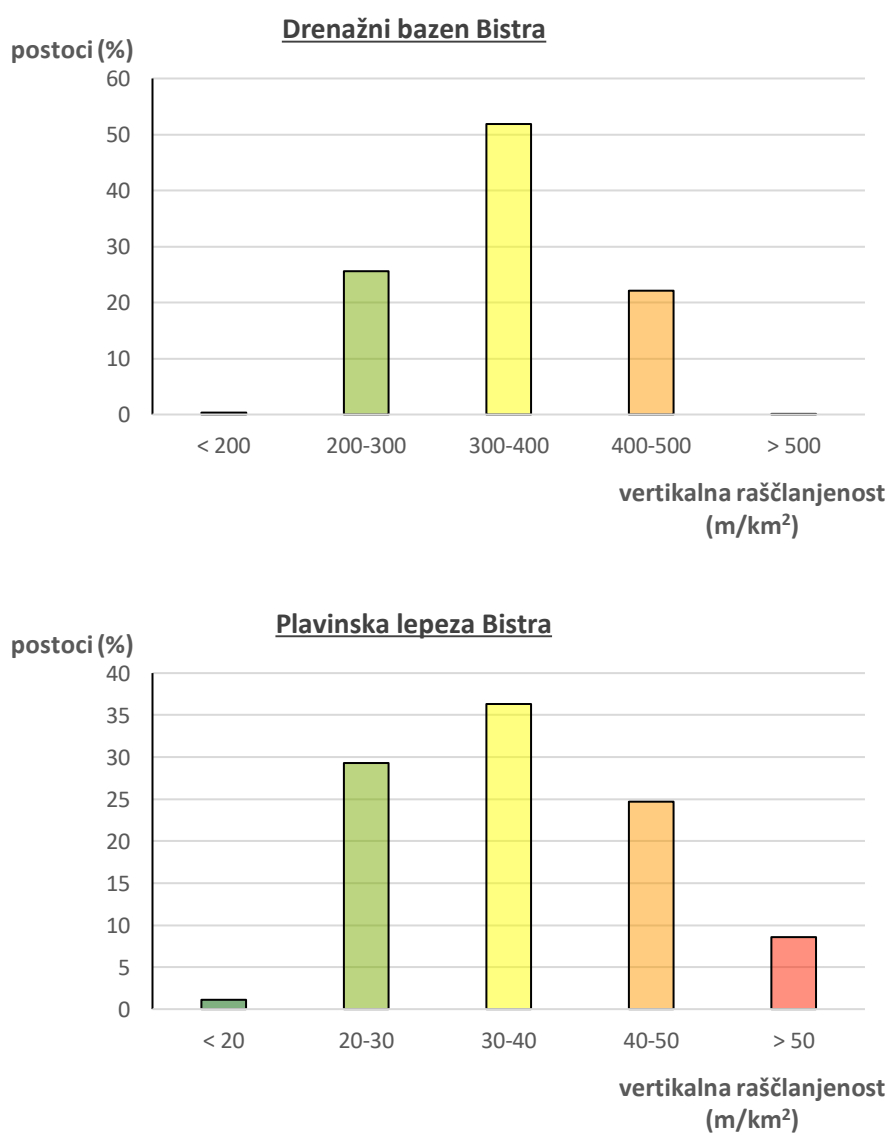
Prosječna energija reljefa plavinske lepeze iznosi 31,62 m/km<sup>2</sup>, čime je svrstana u kategoriju slabo raščlanjenog reljefa. Maksimalni iznos doseže 54,1 m/km<sup>2</sup>, a minimalni 9,82 m/km<sup>2</sup>. 28,90% sveukupne površine ima vertikalnu raščlanjenost u rasponu od 20 do 30 m/km<sup>2</sup>.



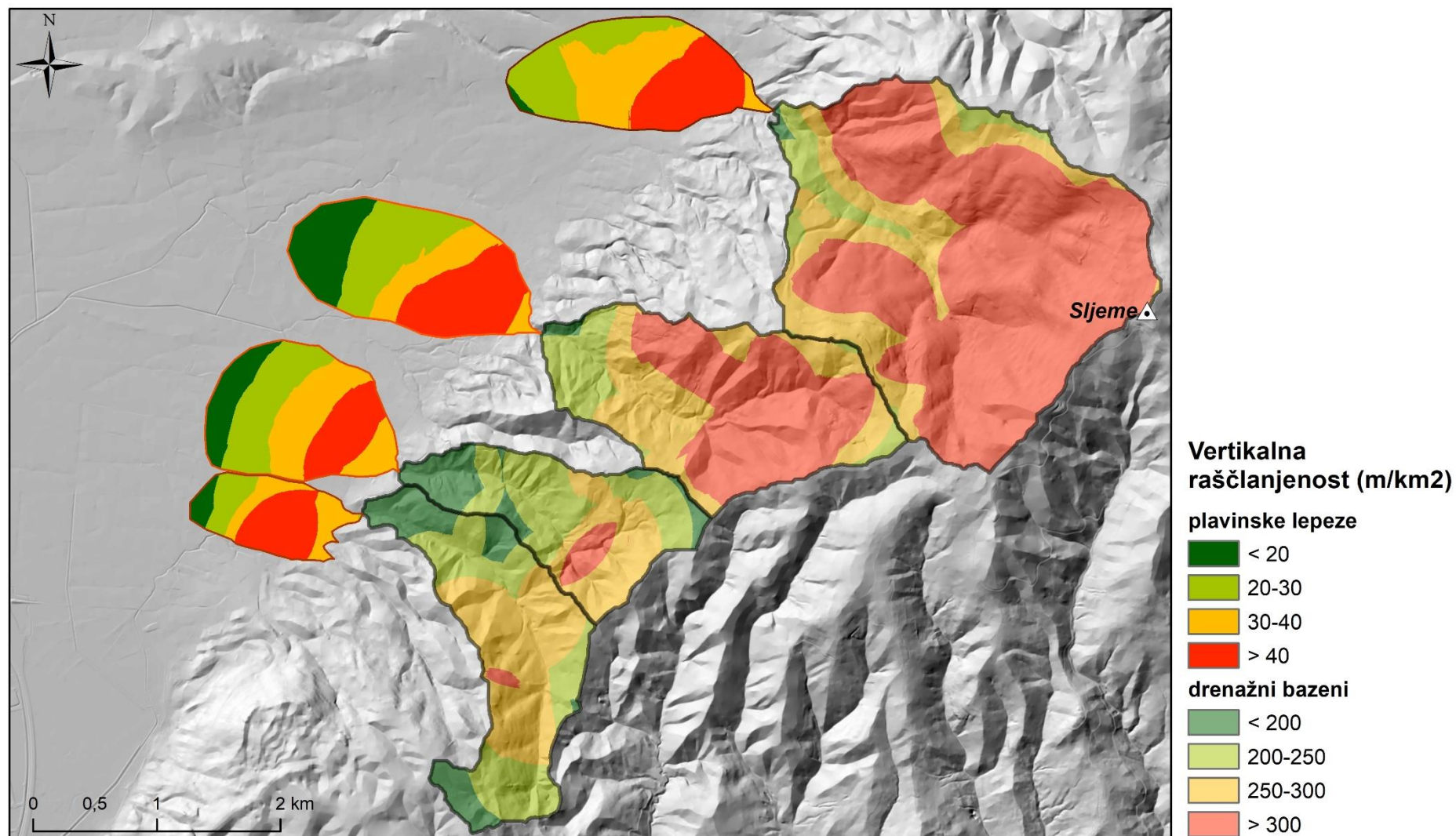
Slika 22. Razredi vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena i plavinske lepeze Poljanica

Vrijednosti vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena Bistra kreću se u intervalu od minimalnih 179,22 m/km<sup>2</sup> do maksimalnih 502,5 m/km<sup>2</sup>, dok srednja vrijednost iznosi 347,46 m/km<sup>2</sup>. Ovaj drenažni bazen je okarakteriziran kao područje izrazito raščlanjenog reljefa. Njegova najveća površina nalazi se u rasponu između 300 i 400 m/km<sup>2</sup> (51,87% sveukupne površine). Najmanje zastupljena kategorija je s energijom reljefa manjom od 200 m/km<sup>2</sup> te zauzima samo 0,38% površine (Sl. 23.)

Bistranska plavinska lepeza ima prosječnu vrijednost od 35,88 m/km<sup>2</sup>, čime se svrstava u kategoriju slabo raščlanjenog reljefa (Sl. 24.). Njezine vrijednosti se kreću od minimalnih 17,91 m/km<sup>2</sup> do maksimalnih 54,90 m/km<sup>2</sup>.



Slika 23. Razredi vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena i plavinske lepeze Bistra



Slika 24. Karta vertikalne raščlanjenosti drenažnih bazena i plavinskih lepeza

### 5.1.5. Profilna zakrivljenost

Od nekoliko postojećih vrsta zakrivljenosti, profilna služi kao dobar indikator u procjeni denudacijskih i akumulacijskih procesa koji su rezultat utjecaja endogenih i egzogenih geomorfoloških agenasa na nekom području. Na temelju zakrivljenosti pravca koji se pruža okomito na izohipse, mogu se definirati tri vrste padina – konveksne koje su posljedica tektonskog izdizanja te područje denudacijskih procesa koji se intenziviraju s porastom dužine padine; pravocrtne su pokazatelj uravnoteženog reljefa; konkavne su tektonski spuštene padine na kojima se taloži padinski materijal (Radoš i sur., 2012).

Unutar drenažnih bazena prevladavaju konveksne padine – bazen Poljanica ima 51,32% padina konveksnog oblika (Sl. 26.), a slijede ga bazen Dubovec s 50,38%, bazen Novočak s 49,87% te bazen Bistra s najnižih 49,67% padina tog oblika. Konveksne padine prevladavaju na višim nadmorskim visinama. U svakom bazenu najmanje su zastupljene pravocrtne padine, dok se konkavne najviše pojavljuju na nižim nadmorskim visinama (Tab. 2.).

Kod plavinskih lepeza situacija je obrnuta – prevladavaju konkavne padine na višim nadmorskim visinama (Sl. 26.). Lepeza Novočak ima najviše konkavnih padina (46,05% sveukupnih padina), a slijede ju plavina Bistra s 44,50%, Dubovec s 40,80% te Poljanica s 39,80%. Također je viši udio pravocrtnih padina u usporedbi s drenažnim bazenima – udjeli se kreću i do 25,56% u plavini Dubovec, dok je najmanji udio u lepezi Novočak – 17,80% (Tab. 3.).

Tablica 2. Profilna zakrivljenost drenažnih bazena

Drenažni bazeni:

<b>Novočak</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konveksna	49,87	395
pravocrtna	1,73	388
konkavna	48,40	363

<b>Dubovec</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konveksna	50,38	380
pravocrtna	1,32	394
konkavna	48,29	369

<b>Poljanica</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konveksna	51,32	501
pravocrtna	1,52	519
konkavna	47,16	473

<b>Bistra</b>	<b>%</b>	<b>Prosječna visina</b>
konveksna	49,67	617
pravocrtna	1,98	614
konkavna	48,35	610

Tablica 3. Profilna zakrivljenost plavinskih lepeza

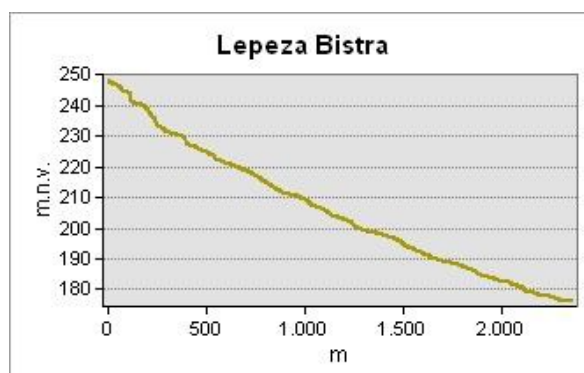
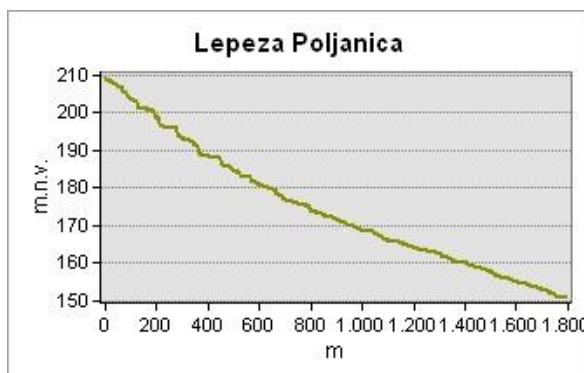
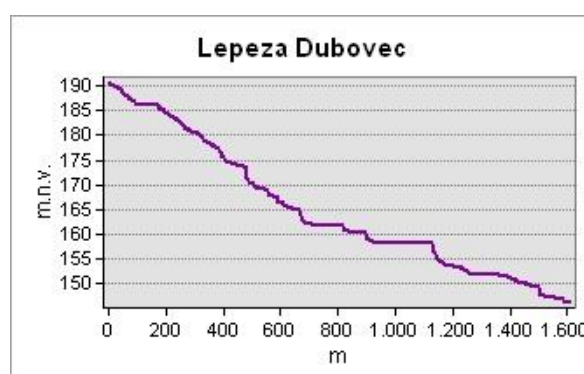
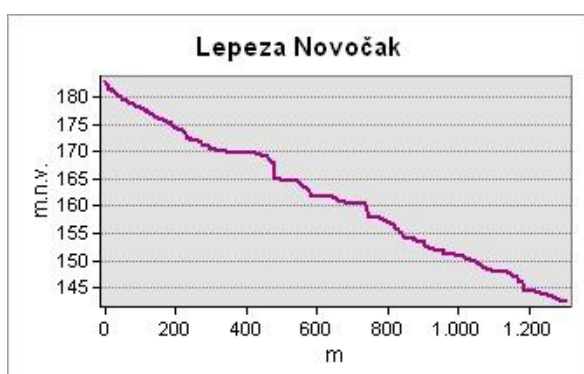
Plavinske lepeze:

<b>Novočak</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konveksna	36,15	159
pravocrtna	17,80	155
konkavna	46,05	162

<b>Dubovec</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konveksna	33,64	159
pravocrtna	25,56	155
konkavna	40,80	159

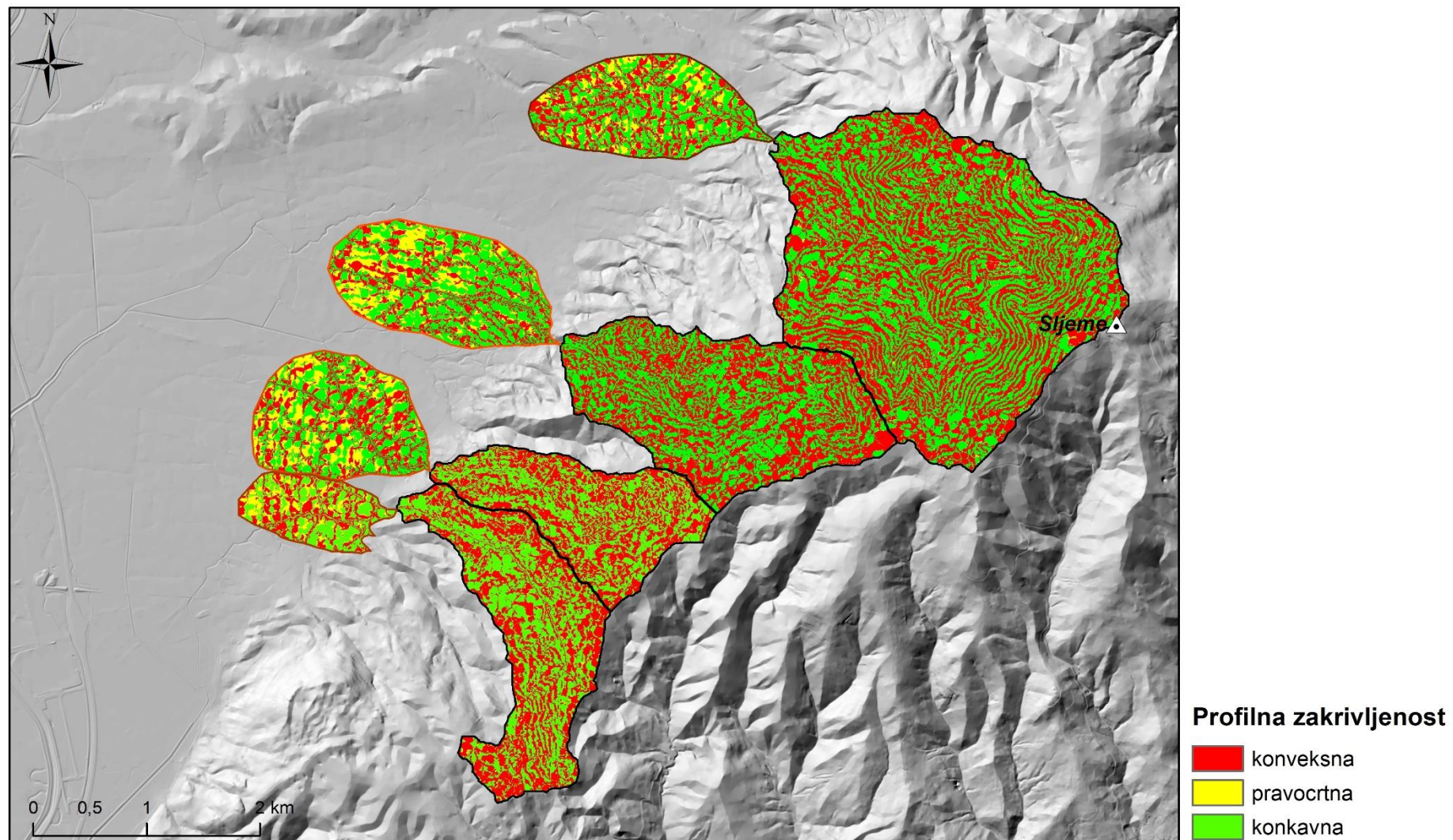
<b>Poljanica</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konveksna	36,91	166
pravocrtna	23,29	160
konkavna	39,80	168

<b>Bistra</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konveksna	37,59	203
pravocrtna	17,90	203
konkavna	44,50	206



Slika 25. Uzdužni profili plavinskih lepeza





Slika 26. Karta profilnih zakrivljenosti drenažnih bazena i plavinskih lepeza

### 5.1.6. Planarna zakrivljenost

Uz profilnu, vrlo su korisni podaci i o planarnoj zakrivljenosti padina. Pomoću informacija o izbočenim padinama možemo analizirati područja divergencije, odnosno pojačanih derazijskih procesa, dok udubljene padine predstavljaju prostor konvergencije, to jest pojačanu zonu akumulacije (Radoš i sur., 2012).

Na području svih drenažnih bazena dominiraju konveksne, odnosno divergentne padine u prosjeku na nešto nižim nadmorskim visinama (Tab. 4.). Najuočljivije su na području bazena Bistra, gdje čine 51,76% sveukupnih padina. Slijede ga bazeni Novočak s 50,49%, Poljanica s 50,48% te Dubovec s 50,19% sveukupne površine. Konvergentne padine u prosjeku prevladavaju na nešto višim nadmorskim visinama, a u tome prednjači bazen Dubovec s 48,59%. Najmanje konvergentnih padina ima bazen Bistra, čije konkavne padine čine 46,62% sveukupne površine. U svim bazenima je pravilo da najmanji postotak odlazi na pravocrtna padine.

Plavinske lepeze slijede sličan trend u kojem prevladavaju konveksne padine. Izuzetak je u tome što konveksne prevladavaju u prosjeku na nešto višim nadmorskim visinama, dok su konkavne padine pretežito na nižim visinama (Tab. 5.). Najveći postotak se bilježi unutar plavine Novočak gdje konveksne padine čine 49,94% padina, dok ih najmanje imaju plavine Dubovec i Bistra čije konveksne padine čine 41,76% sveukupne površine. Konkavne padine su najzastupljenije na padinama Bistre s 39,34% površine, dok najmanje zauzimaju unutar plavine Poljanica (30,45% površine). Kao i kod profilne zakrivljenosti, i planarna pravocrtna zakrivljenost ima veći udio u padinama u usporedbi s drenažnim bazenima (Sl. 27.).

Tablica 4. Planarna zakrivljenost drenažnih bazena

<b>Novočak</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konkavna	47,72	387
pravocrtna	1,78	392
konveksna	50,49	372

<b>Dubovec</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konkavna	48,59	378
pravocrtna	1,22	382
konveksna	50,19	372

<b>Poljanica</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konkavna	48,31	494
pravocrtna	1,21	521
konveksna	50,48	482

<b>Bistra</b>	<b>%</b>	<b>prosječna visina</b>
konkavna	46,62	615
pravocrtna	1,61	626
konveksna	51,76	611

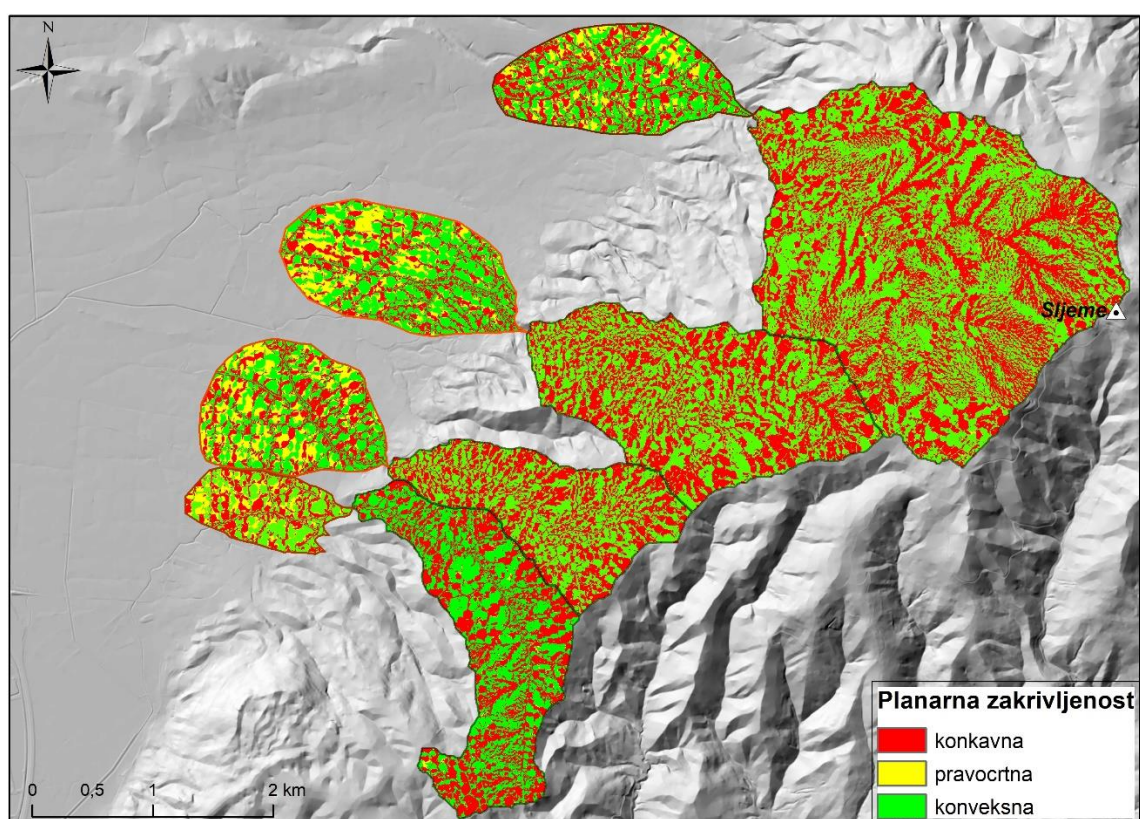
Tablica 5. Planarna zakrivljenost plavinskih lepeza

Novočak	%	prosječna visina
konkavna	32,98	159
pravocrtna	17,08	155
konveksna	49,94	161

Dubovec	%	prosječna visina
konkavna	30,65	158
pravocrtna	27,59	155
konveksna	41,76	160

Poljanica	%	prosječna visina
konkavna	30,45	166
pravocrtna	22,08	159
konveksna	47,47	168

Bistra	%	prosječna visina
konkavna	39,34	203
pravocrtna	18,89	203
konveksna	41,76	206



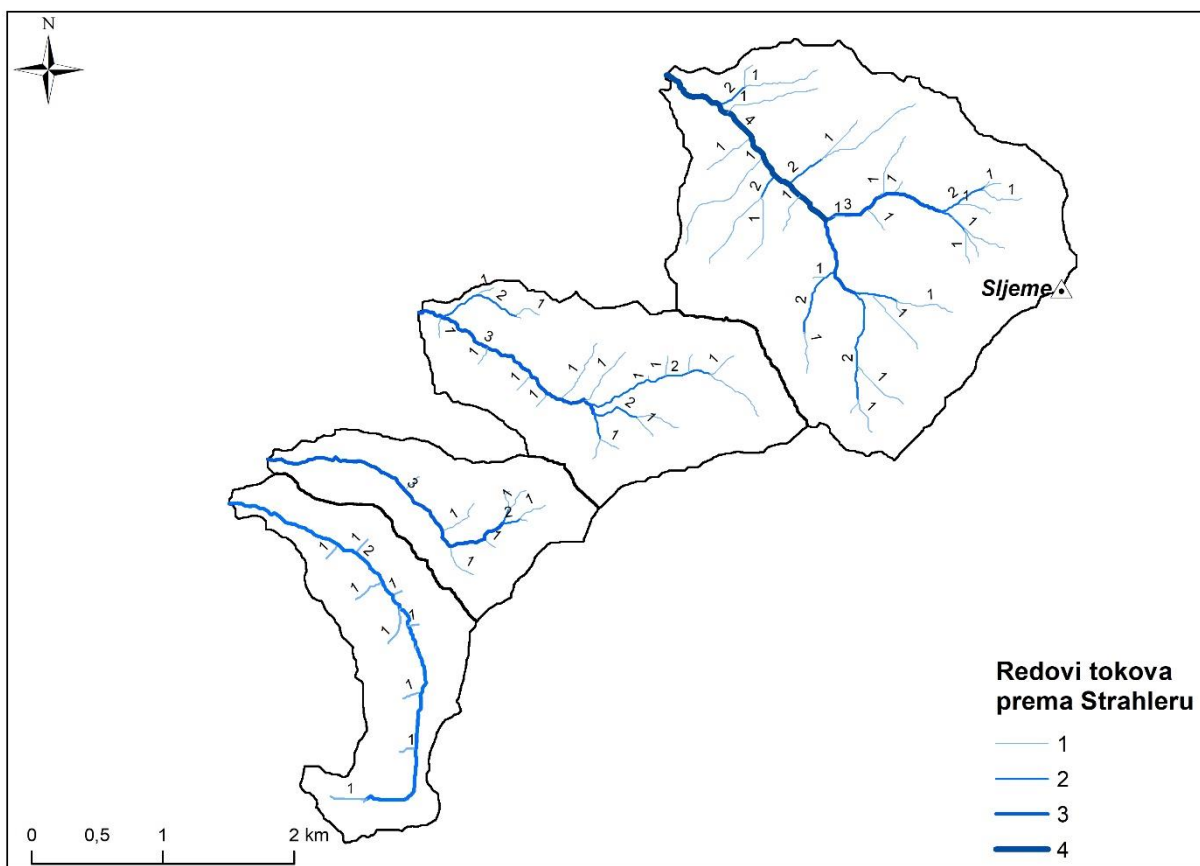
Slika 27. Planarna zakrivljenost drenažnih bazena i plavinskih lepeza



## 5.2 SPECIFIČNA MORFOMETRIJSKA ANALIZA

### 5.2.1. Drenažni bazeni

Drenažni bazeni su područja koja sadrže različite vrste odvodnih kanala putem kojih se odvija transport vode i sedimenta iz okolnog područja (Pokupić i sur., 2018.). Na njihov oblik najveći utjecaj imaju geološka podloga (propusne/nepropusne stijene) te tektonika, odnosno različite vrste pokreta koje nerijetko rezultiraju rasjedima. Drenažni bazen Novočak površine 2,25 km<sup>2</sup> ima mrežu tokova ukupne duljine 5,73 km. Čine ju tokovi prvog reda s 1,64 km te tokovi drugog reda s 4,09 km duljine (Sl. 28.). Drenažna mreža potoka Dubovca obuhvaća 5,74 km vodenih tokova raspoređenih u tri reda na površini od 1,72 km<sup>2</sup>. Prvi red ima ukupnu duljinu od 1,6 km, drugi red 0,6 km te treći 3,88 km. Unutar drenažnog bazena Poljanica tokovi tvore mrežu duljine 8,96 km na površini od 3,06 km<sup>2</sup>. Prvi red je duljine 4,03 km, drugi red 2,28 km te treći 2,65 km. Drenažni bazen Bistra jedini je bazen s 4 reda tokova raspoređenih na 6,52 km<sup>2</sup> koji tvore mrežu dugačku 17,95 km. Tokovi prvog reda su duljine 11,13 km, drugog reda 3,20 km, trećeg 1,66 km te posljednjeg 1,95 km.



Slika 28. Karta drenažne mreže prema Strahlerovoj klasifikaciji

## 5.2.2. Indeks bifurkacije i prvi Hortonov zakon

Prostorni obuhvat pojedinih redova tokova unutar drenažnih bazena prema metodi Strahler prikazana je u Tablici 6. Zahvaljujući tim podacima, izračunati su indeksi bifurkacija ( $I_b$ ) za određene redove tokova te prosječni indeks bifurkacije za pojedini drenažni bazen. Najviši prosječni indeks bifurkacije ima drenažni bazen Dubovec, a iznosi 2,2. Slijedi ga drenažni bazen Bistra s 1,7, zatim Poljanica s 1,57, dok najniži  $I_b$  ima drenažni bazen Novočak – 1,1. S dobivenim indeksima bifurkacije bilo je moguće izračunati teorijske modele i oblikovati realna stanja u skladu s prvim i drugim Hortonovim zakonom.

Prvi Hortonov zakon nije bilo moguće izračunati za potok Novočak zbog premalog broja reda tokova. Za potok Dubovec tokovi prvog reda ukazuju na pozitivno odstupanje od teorijskog modela, dok tokovi drugog reda imaju negativno odstupanje. Isti trend je prisutan i u drenažnom bazenu Poljanica, dok je za potok Bistra negativno odstupanje uočeno tek na tokovima trećeg reda (Sl. 29.).

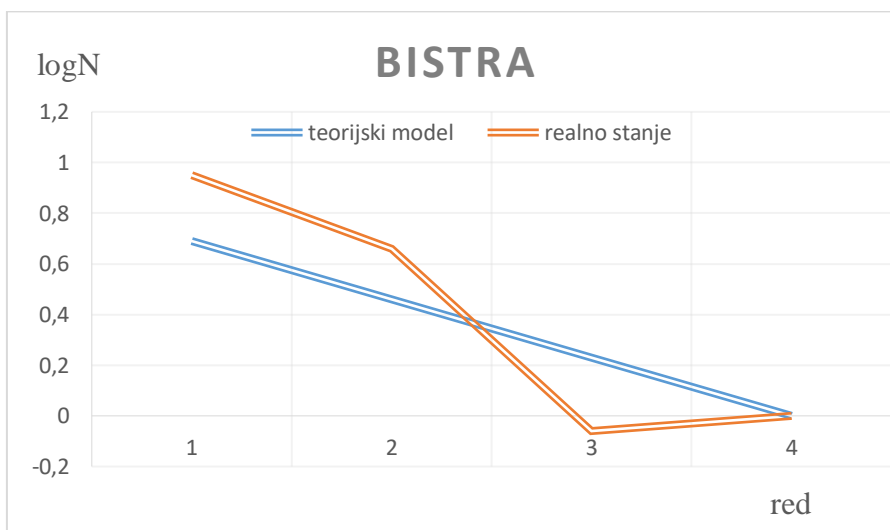
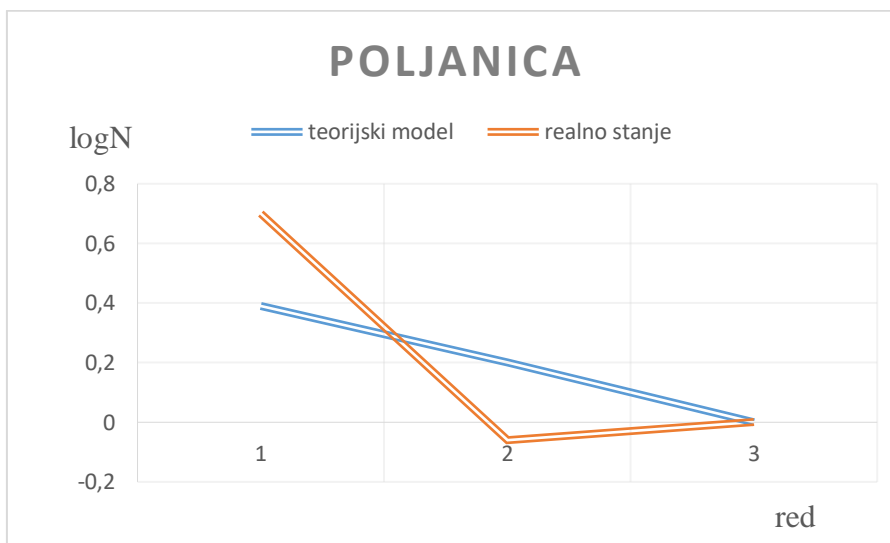
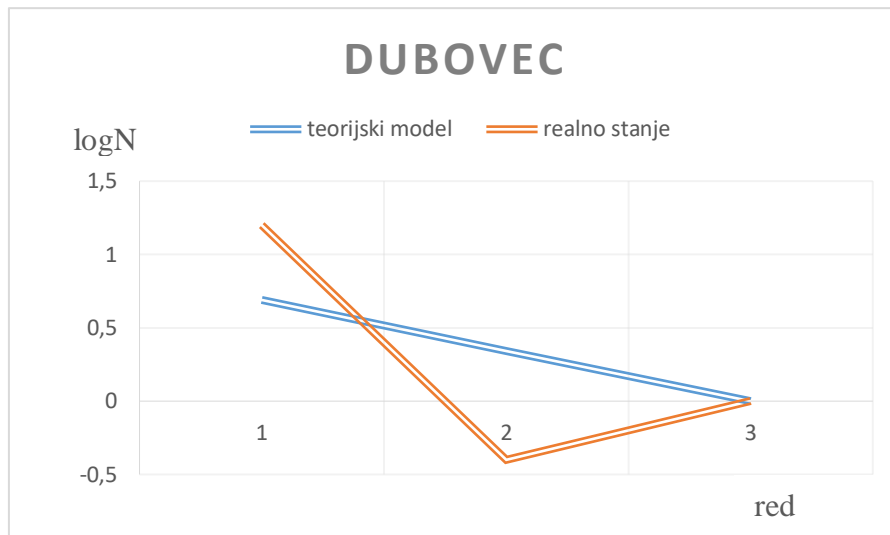
Tablica 6. Osnovni morfometrijski podaci o drenažnim mrežama, indeksi bifurkacija i indeksi duljine tokova

<b>Novočak</b>	<b>1. red</b>	<b>2. red</b>	<b>prosječni <math>I_b</math></b>
broj tokova	11	10	
ukupna duljina (km)	1,64	4,09	
prosječna duljina (m)	149,17	408,91	
indeks bifurkacije ( $I_b$ )	1,1	/	<b>1,1</b>

<b>Dubovec</b>	<b>1. red</b>	<b>2. red</b>	<b>3. red</b>	<b>prosječni <math>I_b</math></b>
broj tokova	8	2	5	
ukupna duljina (km)	1,6	0,26	3,88	
prosječna duljina (m)	200,04	130,49	775,61	
indeks bifurkacije ( $I_b$ )	4	0,4	/	<b>2,2</b>

<b>Poljanica</b>	<b>1. red</b>	<b>2. red</b>	<b>3. red</b>	<b>prosječni <math>I_b</math></b>
broj tokova	18	8	9	
ukupna duljina (km)	4,03	2,28	2,65	
prosječna duljina (m)	223,81	285,2	294,39	
indeks bifurkacije ( $I_b$ )	2,25	0,88	/	<b>1,57</b>

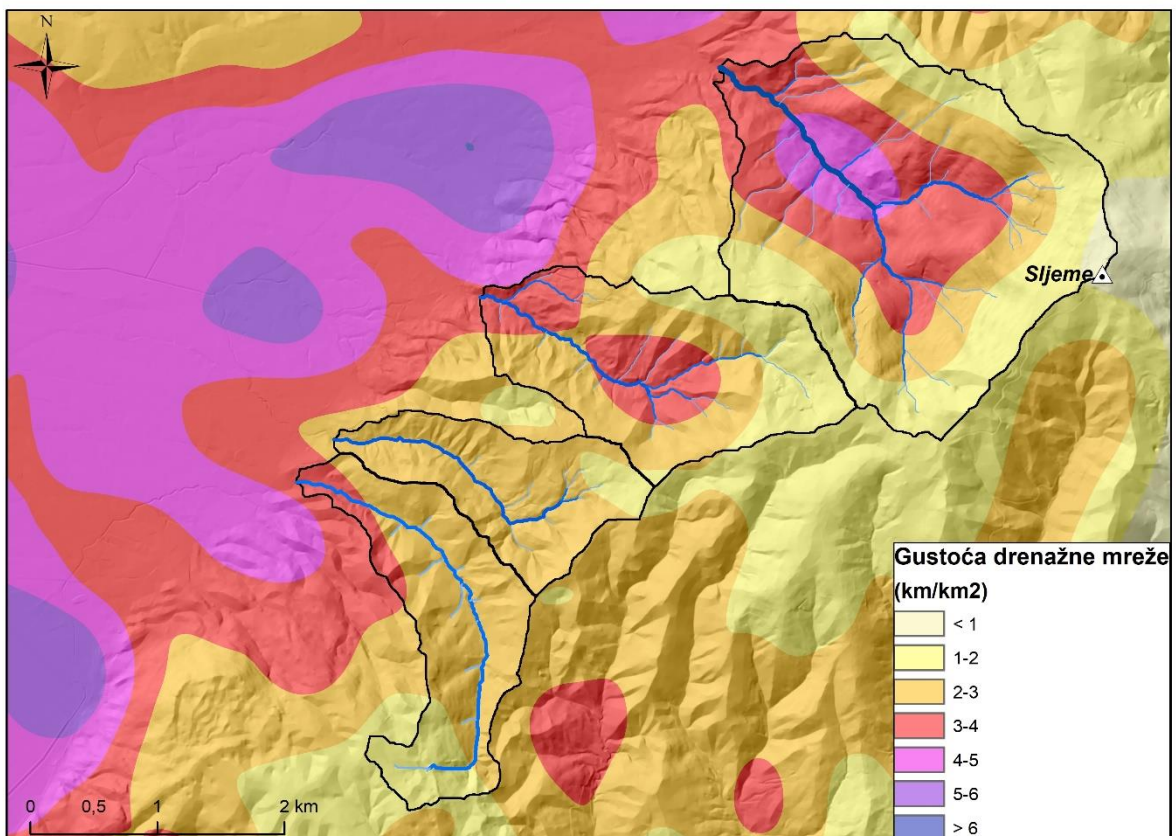
<b>Bistra</b>	<b>1. red</b>	<b>2. red</b>	<b>3. red</b>	<b>4. red</b>	<b>prosječni <math>I_b</math></b>
broj tokova	31	15	7	8	
ukupna duljina (km)	11,13	3,2	1,66	1,95	
prosječna duljina (m)	359,14	213,63	237,62	243,44	
indeks bifurkacije ( $I_b$ )	2,07	2,14	0,88	/	<b>1,7</b>



Slika 29. Prvi Hortonov zakon, odstupanje broja tokova od teorijskog modela

### 5.2.3. Gustoća drenažne mreže

Gustoća drenažne mreže definira se kao duljina drenažne mreže na jedinici površine ( $\text{km}^2$ ). Drenažni bazen Novočak ima raspon gustoća mreže od  $1,65 \text{ km}/\text{km}^2$  do  $3,83 \text{ km}/\text{km}^2$ , s prosječnom gustoćom od  $2,43 \text{ km}/\text{km}^2$  (Sl. 30.). Gustoća drenažne mreže Dubovca ima najmanji interval – najmanja gustoća iznosi  $1,84 \text{ km}/\text{km}^2$ , a najveća  $2,84 \text{ km}/\text{km}^2$ , s prosjekom od  $2,38 \text{ km}/\text{km}^2$ . Poljanička mreža varira između  $1,39$  i  $4,05 \text{ km}/\text{km}^2$ , dok prosjek iznosi  $2,55 \text{ km}/\text{km}^2$ . Bistra ima najveći raspon gustoća – najmanji je  $0,59 \text{ km}/\text{km}^2$ , a najveći  $4,55 \text{ km}/\text{km}^2$ . Prosječna gustoća drenažne mreže Bistra je  $2,67 \text{ km}/\text{km}^2$ . Gustoća drenažnih bazena raste na mjestima gdje se tokovi nižeg reda prema Strahleru spajaju u tokove višeg reda, te se maksimumi očituju na područjima najvišeg reda tokova pojedinog bazena.



Slika 30. Karta gustoća drenažnih mreža

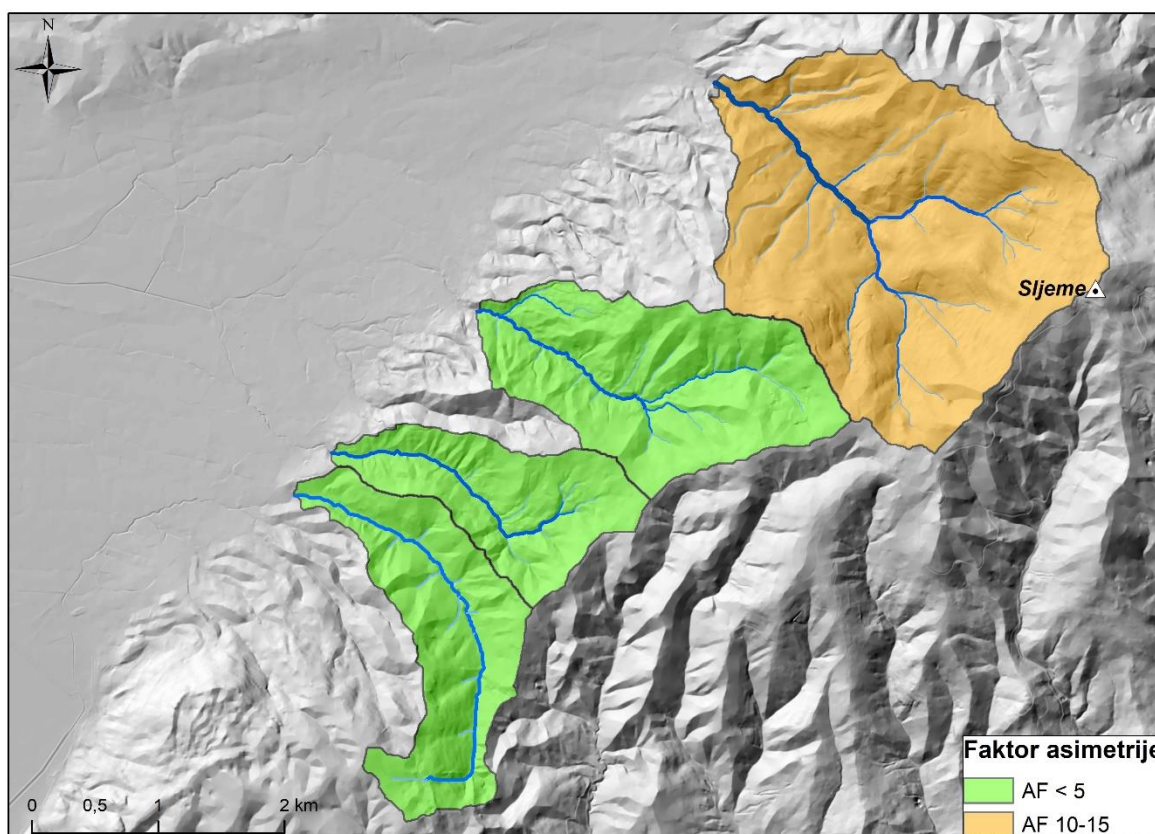
#### 5.2.4. Faktor asimetrije

Pomoću faktora asimetrije možemo procijeniti utjecaj tektonike na simetričnost lijeve i desne obale pojedinih potoka. Dobiveni faktori asimetrije prikazani su u Tablici 7.

Tablica 7. Površine desnih dijelova drenažnih bazena, ukupna površina i faktor asimetrije

Drenažni bazen	$A_R$	$A_T$	AF
Novočak	1,1	2,25	1,11
Dubovec	0,85	1,72	0,58
Poljanica	1,5	3,06	0,98
Bistra	2,49	6,52	11,81

Dobiveni rezultati pokazuju da su drenažni bazeni potoka Novočak, Dubovec i Poljanica simetrični ( $AF < 5$ ), dok je drenažni bazen Bistra umjereno asimetričan ( $AF 10 - 15$ ); (Sl. 30.).

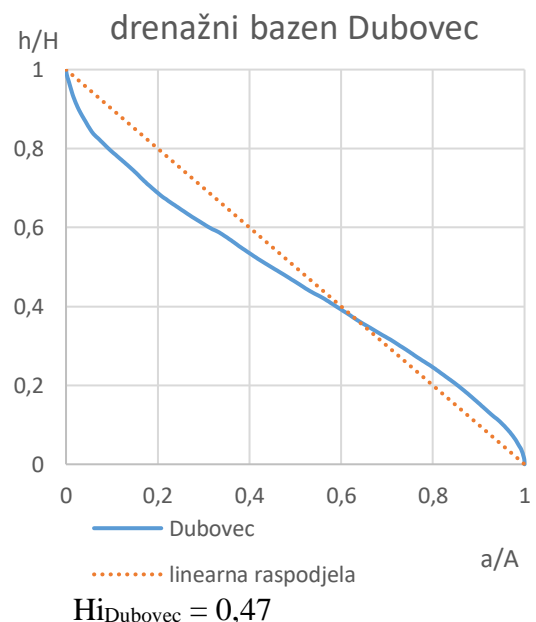
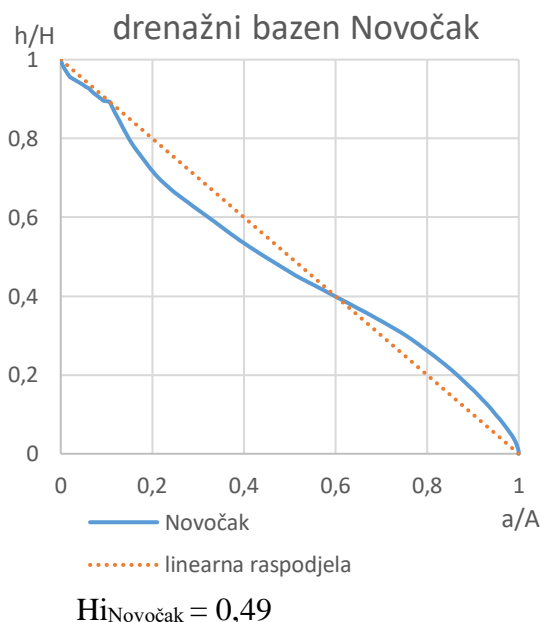


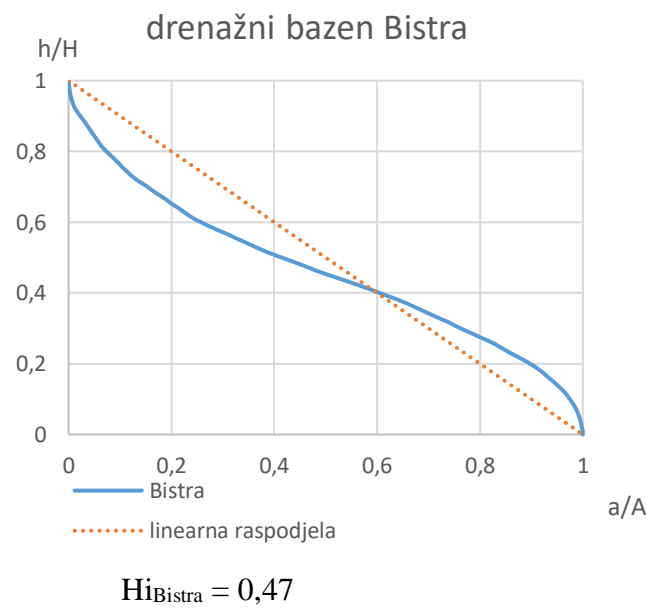
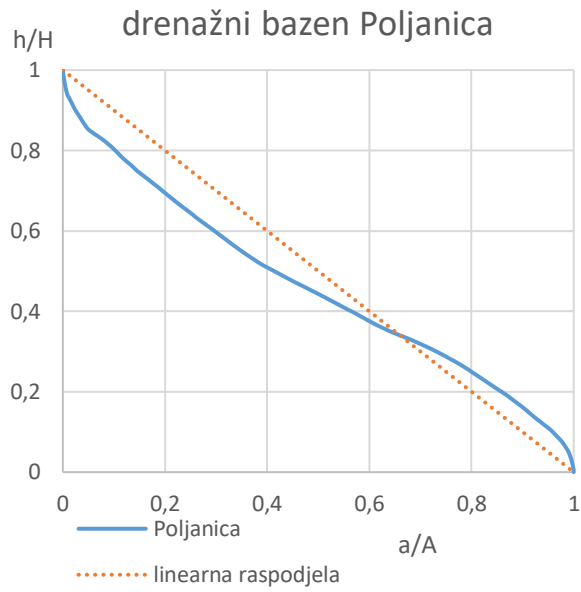
Slika 31. Karta faktora asimetrija drenažnih bazena

### 5.2.5. Hipsometrijska krivulja i integral

Hipsometrijska krivulja ukazuje na raspored površine drenažnog bazena s obzirom na njen erozijski stadij. Prema Strahleru (1952), hipsometrijske krivulje konveksnog oblika predstavljaju mlada erodirana područja, s određenom količinom potencijalne mase za buduće erozijske procese, dok je konkavna krivulja indikator većinski erodiranih područja u svom starom, mirujućem stadiju. Krivulje S oblika ukazuju na područje zrelog erozijskog stadija. Drenažni bazeni sva četiri potoka imaju blagi potonji oblik krivulje (Sl. 32.).

Hipsometrijski integral ( $H_i$ ) služi kao indikator kvantitativnog odnosa između površine istraživanog reljefa i njegove visine, pritom ukazujući na razvitak drenažnog bazena, utjecaj glacijalnog razdoblja na isti te na ulogu litologije i tektonike (Duan i sur., 2022). Oblik hipsometrijskih krivulja aproksimiran je hipsometrijskim integralom, odnosno površinom ispod krivulje. Generalno gledajući, hipsometrijski integrali koji teže 0 karakteristični su za područja zrelih, odnosno starih erozijskih stadija, dok integrali bliže 1 prikazuju područja mlađeg erozijskog stadija (Matoš i sur., 2014). Hipsometrijski integrali sva četiri drenažna bazena blizu su iznosu 0,5.





Slika 32. Hipsometrijske krivulje i integrali drenažnih bazena



U Tablici 8. skupno su prikazana osnovna morfometrijska obilježja svih drenažnih bazena i njihovih plavina. Najveće razlike među sljevovima (A) uočene su u njihovoj površini, prosječnoj nadmorskoj visini, energiji reljefa, indeksu bifurkacije te faktoru asimetrije. Nasuprot tome, vrijednosti nagiba, hipsometrijskog integrala, koeficijenta razvijenosti toka i gustoće drenažne mreže minimalno odstupaju jedni od drugih.

Razlike među plavinskim lepezama (B) najmanje su očite na njihovim nagibima, dok su najveće razlike u dužini, a samim time i površini te u prosječnoj nadmorskoj visini.

Tablica 8. Osnovni morfometrijski parametri drenažnih bazena (A) i plavinskih lepeza (B)

A

Drenažni bazen	Površina (km <sup>2</sup> )	Prosječna nadmorska visina (m)	Prosječni nagib (°)	Prosječna vertikalna raščlanjenost (m/km <sup>2</sup> )	Hipsometrijski integral	Koeficijent razvijenosti toka	Prosječni indeks bifurkacije	Faktor asimetrije	Gustoća drenažne mreže (km/km <sup>2</sup> )
<b>Novočak</b>	2,25	379	22,9	234,99	0,49	1,22	1,1	1,11	2,43
<b>Dubovec</b>	1,72	375	22,5	238,60	0,47	1,14	2,2	0,58	2,38
<b>Poljanica</b>	3,06	488	23,6	303,32	0,46	1,16	1,57	0,98	2,55
<b>Bistra</b>	6,52	614	22,9	347,46	0,47	1,17	1,7	11,81	2,67

B

Plavinska lepeza	Površina (km <sup>2</sup> )	Prosječna nadmorska visina (m)	Prosječni nagib (°)	Dužina (km)	Širina (km)
<b>Novočak</b>	0,64	159	2,75°	1,37	0,62
<b>Dubovec</b>	1,39	158	2,07°	1,55	1,13
<b>Poljanica</b>	1,64	165	2,04°	2,15	0,98
<b>Bistra</b>	1,39	204	2,32°	2,17	0,92





Slika 33. V-dolina (a) i plavina (b) potoka Novočak



Slika 34. V-dolina (a) i plavina (b) potoka Dubovec



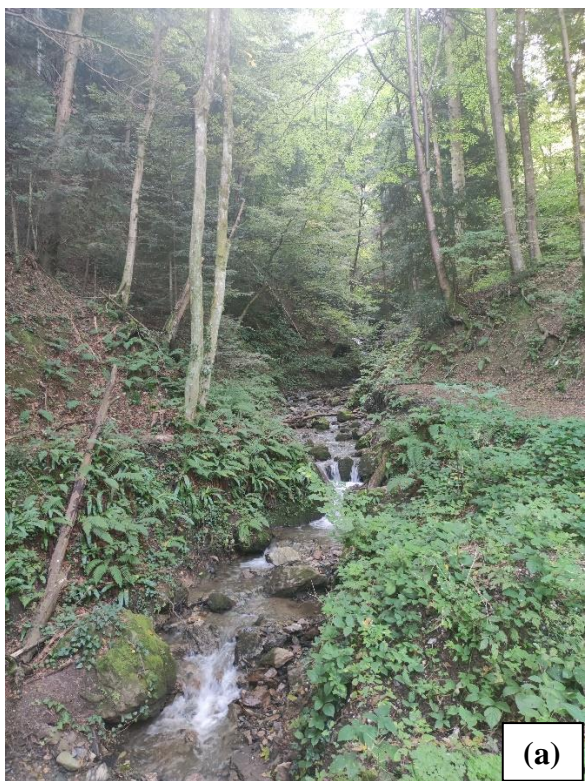


**(a)**

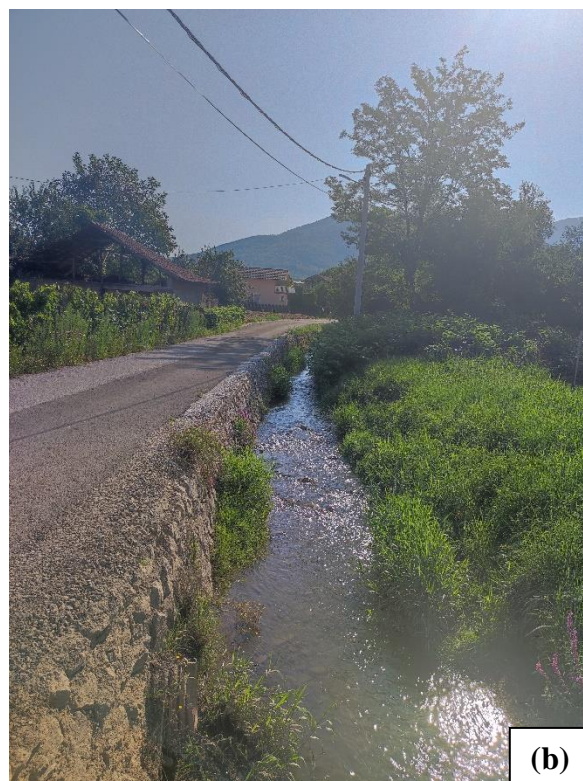


**(b)**

Slika 35. V-dolina (a) i plavina (b) potoka Poljanica



**(a)**



**(b)**

Slika 36. V-dolina (a) i plavina (b) potoka Bistra

### 5.3 UTJECAJ GEOLOŠKE GRAĐE

Geološka građa istraživanih drenažnih bazena analizirana je na temelju podataka iz Opće geološke karte, list Zagreb (Šikić i dr., 1972; Tab. 9.). Drenažna mreža potoka Novočaka obuhvaća stijene iz razdoblja trijasa, krede te paleocena (Sl. 37.). U izvorišnom području, na visinama iznad 500 metara, prevladavaju dolomiti srednjeg trijasa. Najvećim dijelom svog toka Novočak teče po stijenama sastavljenim od gornjosenonskih sedimenata u vidu polimiktnih konglomerata i breča (Šikić i sur., 1979). Upravo na tim stijenama prisutne su padine s najvećim nagibima, dok u donjem dijelu bazena nailazimo na fragmente paleogenskih lapora na kojima su nagibi niži.

Drenažni bazen Dubovec najvećim se dijelom prostire na pješčenjacima apt–turon starosti koje odlikuje visoka energija reljefa, a pješčenjake okružuju kampan–mastriht polimiktni konglomerati (Sl. 37.). Mnogobrojni rasjedi koji se pružaju u različitim smjerovima rezultirali su pojavom fragmenata paleogenskih lapora, dok se na drenažnoj mreži to očitovalo u vidu nekoliko laktastih skretanja potoka Dubovec.

Potok Poljanica započinje svoj tok na parametamorfite iz devona i karbona koji se pružaju na nadmorskoj visini većoj od 800 metara (Sl. 37.). Nastavlja se duž gornjosenonskih konglomerata i pješčenjaka iz razdoblja apt–turon. U području samog potoka Poljanica u pješčanim ulošcima unutar konglomerata se nalaze i gnijezda hematita (Šikić i sur., 1979). U središnjem dijelu drenažnog bazena potok jednim manjim dijelom teče kroz dijabase kredne starosti, lapore koji datiraju iz paleogena te je na tom području visoka gustoća drenažne mreže.

Izvorišni dio drenažnog bazena Bistra započinje na para- i ortometamorfite iz razdoblja devona i karbona (Sl. 37.). Na tim stijenama prisutne su padine s većim iznosima nagiba, dok na krednim pješčenjacima padine imaju blaži nagib. Velik utjecaj na izgled drenažne mreže imaju rasjedi koji se pružaju u različitim smjerovima te rezultiraju laktastim skretanjima potoka Bistra.

Tablica 9. Geološka građa drenažnih bazena

RB	DRENAŽNI BAZEN	GRAĐA PODLOGE
1.	Novočak	dolomiti (trijasa), konglomerati (kreda), lapori (paleogen)
2.	Dubovec	pješčenjaci (kreda), konglomerati (kreda), lapori (paleogen)
3.	Poljanica	metamorfiti (devon), konglomerati (kreda), pješčenjaci (kreda), dijabazi (kreda), lapori (paleogen)
4.	Bistra	metamorfiti (devon), pješčenjaci (kreda)





## 6. RASPRAVA

Povećanje hipsometrijskih intervala drenažnih bazena prvenstveno je povezano s njihovim smještajem – bazen Novočak započinje na nižim dijelovima medvedničkog hrpta, dok bazen Bistra kreće od samog vrha (Sljemena) te se proteže sve do ravničarskog dijela. Nagle promjene u visinama uzrokuje promjena litološke podloge. Bazen Bistra ima najveću promjenu visine na prijelazu iz para- i ortometamorfita u kredne pješčenjake, a bazen Poljanica iz krednih konglomerata u pješčenjake. To potvrđuje i karta vertikalne raščlanjenosti na kojoj je energija reljefa najveća na gore opisanim područjima. U prilog tome govori i karta gustoća drenažnih mreža, pomoću koje možemo definirati prostorni raspored i intenzitet erozije. S povećanjem duljine tokova raste i jačina erozijskih procesa (Kvetek i Bočić, 2015). Najveća gustoća, odnosno intenzitet erozije prisutan je na područjima s geološkom podlogom u vidu apt–turonskih pješčenjaka. Veći iznosi nagiba također su karakteristični za područja prijelaza iz jedne stijenske podloge u drugu, a pogotovo duž rasjeda s relativno spuštenim blokovima, kao što je primjer u drenažnom bazenu Poljanica. Ortometamorfne stijene u drenažnom bazenu Bistra imaju najveće nagibe. Niži nagibi, kao i niža energija reljefa, najviše su vezani uz ekspozicije orijentirane prema sjevernom kvadrantu (sjeverozapad, sjever, sjeveroistok) u svim bazenima. Jedan od razloga može biti manja izloženost kratkovalnom zračenju tijekom ljetnog razdoblja, čime se stvaraju idealni uvjeti za održavanje guste vegetacije koja usporava denudacijske procese. Prosječan nagib bazena iznosi oko 23°, a reljef tog nagiba podložan je snažnoj eroziji, spiranju i izrazitom kretanju masa.

U plavinama su prisutni uglavnom šljunci i pijesci koji datiraju iz plioleistocena. Njihovi uzdužni profili pokazuju određene anomalije – lepeza Novočak i lepeza Dubovec imaju nagle padove u promjeni nadmorske visine (Sl. 25.). Uzrok je najvjerojatnije antropogenog porijekla – vodotoci u ravničarskom dijelu su kanalizirani i na područjima skokova im je promijenjen smjer kretanja te su napravljeni mostovi preko tokova.

Rezultati profilne zakrivljenosti drenažnih bazena govori u prilog tome da su procesi denudacije intenzivniji na višim nadmorskim visinama, dok se denudirani materijal više akumulira na nižim nadmorskim visinama. Kako se radi o približno jednakim postocima konveksnih i konkavnih padina, može se reći da je unutar svih drenažnih bazena gotovo jednak odnos denudacije i akumulacije materijala.

S druge strane, analiza planarne zakrivljenosti pokazuje prevagu konveksnih padina na kojima je izraženo djelovanje destruktivnih egzogeomorfoloških procesa.

Kao posljedica endogenih procesa, Medvednica je ispresijecana rasjedima različitih smjerova. Drenažna mreža svih bazena većinski se pruža duž rasjednih linija, a rezultat toga su mnogobrojna laktasta skretanja tokova Dubovec, Poljanica i Bistra. Unatoč tome, faktori asimetrije pokazuju da su drenažni bazeni Novočak, Dubovec i Poljanica simetrični, dok je naginjanje terena uslijed tektonskih pomaka utjecalo na veću razliku u površinama između desne i lijeve obale potoka Bistra, što se očitovalo u umjerenoj asimetričnosti tog bazena.

Pomoću indeksa bifurkacije dobiveni su rezultati za prvi Hortonov zakon, odnosno utvrđena su odstupanja broja tokova od teorijskog modela. Tokovi prvog reda potoka Dubovec, Poljanica i Bistra, kao i tokovi drugog reda potonjeg potoka, imaju pozitivno odstupanje, što može biti indikator relativnog tektonskog izdizanja tog područja, a posljedica je intenziviranje erozijskih procesa te učestalije grananja tokova i skraćivanje njihove dužine (Kvetek i Bočić, 2015). Tokovi drugog reda potoka Dubovec i Poljanica te tokovi trećeg reda potoka Bistra imaju negativan trend, što upućuje na relativno tektonsko spuštanje reljefa i pojačanju akumulaciju na tom području.

Analiza hipsometrijskih krivulja bazena pokazuje da su sva četiri bazena u zreom erozijskom stadiju zbog svojeg S oblika. U prilog tome ide i činjenica da se iznosi hipsometrijskih integrala kreću nešto ispod 0,5.

## 7. ZAKLJUČAK

Na temelju opće i specifične morfometrijske analize te usporedbe se geološkim kartama može se zaključiti:

- ❖ Drenažni bazeni nalaze se na sredogorju čija raznolika litološka podloga datira od devona pa sve do paleogena, s nagibima idealnim za eroziju, spiranje i izrazito kretanje masa
- ❖ Plavine čine ravničarski prostor u podnožju sredogorja čije naslage potječu iz pleistocena i holocena
- ❖ Litološka podloga znatno utječe na intenzitet i raspored erozije te gustoću drenažne mreže nekog područja
- ❖ Korita potoka razvila su se duž rasjeda, često tvoreći laktasta skretanja
- ❖ Glavni tokovi potoka svojim uskim V-dolinama okomito sijeku Medvednicu, tvoreći tako diseciran, rebrasti reljef
- ❖ Rezultati profilne i planarne zakrivljenosti pokazatelj su intenzivnih denudacijskih procesa na višim nadmorskim visinama, a akumulacije na nižim nadmorskim visinama
- ❖ Asimetričnost drenažnih bazena uočena je samo kod potoka Bistra
- ❖ Prvi Hortonov zakon ukazuje na tektonsko izdizanje na područjima tokova prvih redova, što je utjecalo na intenzitet erozije i skraćivanje duljine tokova
- ❖ Tokovi drugog reda potoka Dubovec i Poljanica te tokovi trećeg reda potoka Bistre područja su spuštanja ili mirovanja reljefa s pojačanom akumulacijom
- ❖ Hipsometrijske krivulje i integrali pokazatelj su zrelog erozijskog stadija svih drenažnih bazena

## 8. LITERATURA

Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta geographica Croatica*, vol. 34, 7–29.

Duan Y., Pei, X., Zhang, X. 2022: The Hypsometric Integral Based on Digital Elevation Model for the Area West of Lvliang Mountains in Loess Plateau, Shanxi, China. *Frontiers Earth Science*, 10, 1–14

Kvetek, F., Bočić, N., 2015: Digitalna analiza drenažne mreže na primjeru Papuka, *Geografski horizont*, 61, 61–73.

Lozić, S., 1995: Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 30, 17–26.

Lozić, S. 2000: Multivariate approach to relief classification and typology - the example of north-western Croatia, *Acta Geographica Croatica*, 35, 19–40.

Lukić, A., Turk, I., 2014: Geografska obilježja Općine Bistra, u *Bistra: monografija* (ur. Dobrovšak, Lj.) Zagreb: Općina Bistra, 13–24.

Matoš, B., Tomljenović, B., Trenc, N., 2014: Identification of tectonically active areas using DEM: A quantitative morphometric analysis of Mt. Medvednica, NW Croatia, *Geological Quarterly*, 58, 51–70.

Miliša, M., Živković, V., Habdija, I., 2010: Destructive effect of quarry effluent on life in a mountain stream, *Biologia*, 65, 520–526.

Molle, F., Wester, P., Hirsch, P., Jensen, J.R., Murray-Rust, H., Paranjpye, S., van der Zaag, P., 2007: River basin development and management, *Water for food, water for life*, 16, 585–624.

Orešić, D., 1995: Osnovne značajke režima tekućica poriječja Krapine, *Geografski glasnik*, 57, 37–53.

Pérez-Peña J.V., Azor A., Azañón J.M., Keller E.A., 2010: Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis, *Geomorphology*, 119, 74–87.



Pokupić, M., Varga, M., Bašić, T., 2018: Models of geomorphometric parameters and drainage networks for the territory of Republic of Croatia, *Hrvatski Geografski Glasnik*, 80, 61–76.

Radoš, D., Šiljeg, A., Lozić, S., 2012: Primjena GIS metoda u analizi geomorfometrijskih značajki Duvanjskog polja, *Čovjek i krš*, 1, 143–161.

Riđanović, J., 1993: Hidrogeografija, Zagreb, Školska knjiga, sveučilišni udžbenik, 215 str.

Stepišnik, U., 2009: Active and relict alluvial fans on contact karst of the Vrhpoljska brda hills, Slovenia, *Acta geographica Slovenia*, 49, 249–262.

Stepišnik, U., 2010: Relict alluvial fans of Matarsko Podolje and Vrhpoljska Brda, Slovenia, *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 54, 17–29.

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

Šegota, T., Filipčić, A., 1996: Klimatologija za geografe, Zagreb, Školska knjiga, sveučilišni udžbenik, 472 str.

Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A., 1978: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Zagreb L33–80. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd (1977).

Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A., 1979: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Zgreb L33–80. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd, 81 str.

Šikić, K., 1995: Prikaz geološke građe Medvednice, u: *Geološki vodič Medvednice* (ur. Šikić, K.), Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 7–30.

Tišljar, J., 1994: Sedimentne stijene, Školska knjiga, Zagreb, 384 str.

Tomljenović, B., Csontos, L., Márton, E., Márton, P., 2008: Tectonic evolution of the northwestern Internal Dinarides as constrained by structures and rotation of Medvednica Mountains, North Croatia. *Geological Society*, London, Special Publications, 298, 145–167.

Žugaj, R., 2000: Hidrologija, sveučilišni udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 407 str.

## 9. PRILOZI

### Popis slika

Slika 1. Geomorfološka regionalizacija Hrvatske.....	4
Slika 2. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000.....	6
Slika 3. Digitalizirana plavina potoka Dubovec.....	9
Slika 4. Prostorni obuhvat istraživanog područja.....	13
Slika 5. Hipsometrijski razredi drenažnog bazena i plavinske lepeze Novočak.....	14
Slika 6. Hipsometrijski razredi drenažnog bazena i plavinske lepeze Dubovec.....	15
Slika 7. Hipsometrijski razredi drenažnog bazena i plavinske lepeze Poljanica.....	16
Slika 8. Hipsometrijski razredi drenažnog bazena i plavinske lepeze Bistra.....	17
Slika 9. Hipsometrijska karta drenažnih bazena i plavinskih lepeza.....	18
Slika 10. Razredi nagiba drenažnog bazena i plavinske lepeze Novočak.....	19
Slika 11. Razredi nagiba drenažnog bazena i plavinske lepeze Dubovec.....	20
Slika 12. Razredi nagiba drenažnog bazena i plavinske lepeze Poljanica.....	21
Slika 13. Razredi nagiba drenažnog bazena i plavinske lepeze Bistra.....	22
Slika 14. Karta nagiba drenažnih bazena i plavinskih lepeza.....	23
Slika 15. Razredi ekspozicija drenažnog bazena i plavinske lepeze Novočak.....	24
Slika 16. Razredi ekspozicija drenažnog bazena i plavinske lepeze Dubovec.....	25
Slika 17. Razredi ekspozicija drenažnog bazena i plavinske lepeze Poljanica.....	26
Slika 18. Razredi ekspozicija drenažnog bazena i plavinske lepeze Bistra.....	27
Slika 19. Karta ekspozicija drenažnih bazena i plavinskih lepeza.....	28
Slika 20. Razredi vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena i plavinske lepeze Novočak...29	29
Slika 21. Razredi vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena i plavinske lepeze Dubovec...30	30
Slika 22. Razredi vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena i plavinske lepeze Poljanica...31	31
Slika 23. Razredi vertikalne raščlanjenosti drenažnog bazena i plavinske lepeze Bistra.....32	32
Slika 24. Karta vertikalne raščlanjenosti drenažnih bazena i plavinskih lepeza.....33	33
Slika 25. Uzdužni profili plavinskih lepeza.....35	35
Slika 26. Karta profilnih zakrivljenosti drenažnih bazena i plavinskih lepeza.....36	36
Slika 27. Planarna zakrivljenost drenažnih bazena i plavinskih lepeza.....38	38
Slika 28. Karta drenažne mreže prema Strahlerovoj klasifikaciji.....39	39
Slika 29. Prvi Hortonov zakon, odstupanje broja tokova od teorijskog modela.....41	41
Slika 30. Karta gustoća drenažnih mreža.....42	42
Slika 31. Karta faktora asimetrija drenažnih bazena.....43	43

Slika 32. Hipsometrijske krivulje i integrali drenažnih bazena.....	45
Slika 33. V-dolina (a) i plavina (b) potoka Novočak.....	47
Slika 34. V-dolina (a) i plavina (b) potoka Dubovec.....	47
Slika 35. V-dolina (a) i plavina (b) potoka Poljanica.....	47
Slika 36. V-dolina (a) i plavina (b) potoka Bistra.....	47
Slika 37. Geološka karta drenažnih bazena i plavina.....	50

#### Popis tablica

Tablica 1. Nazivi drenažnih bazena i plavina te njihove površine.....	12
Tablica 2. Profilna zakrivljenost drenažnih bazena.....	33
Tablica 3. Profilna zakrivljenost plavinskih lepeza.....	34
Tablica 4. Planarna zakrivljenost drenažnih bazena.....	36
Tablica 5. Planarna zakrivljenost plavinskih lepeza.....	37
Tablica 6. Osnovni morfometrijski podaci o drenažnim mrežama, indeksi bifurkacija i indeksi duljine tokova.....	39
Tablica 7. Površine desnih dijelova drenažnih bazena, ukupna površina i faktor asimetrije...42	
Tablica 8. Osnovni morfometrijski parametri drenažnih bazena i plavinskih lepeza.....	45
Tablica 9. Geološka građa drenažnih bazena.....	49