

Analiza drenažne mreže Međimurskih gorica

Sever, Martin

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:217:286057>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

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



Martin Sever

**Analiza drenažne mreže
Međimurskih gorica**

Diplomski rad

Zagreb

2018.

Martin Sever

**Analiza drenažne mreže
Međimurskih gorica**

Diplomski rad

predan na ocjenu Geografskom odsjeku

Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

radi stjecanja akademskog zvanja

magistra geografije

Zagreb

2018.

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija*; smjer: *Geografski informacijski sustavi* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Nevena Bočića

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski rad

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geografski odsjek

Analiza drenažne mreže Međimurskih gorica

Martin Sever

Izvadak: U radu se analizira drenažna mreža Međimurskih gorica. Drenažna je mreža derivirana iz digitalnog modela reljefa. Analizirani su opći i specifični morfometrijski pokazatelji reljefa i drenažne mreže. Izrađena je klasifikacija tokova Strahlerovom metodom. Provedena je analiza prema Hortonovim zakonima. Analizom su utvrđena pojedina obilježja drenažne mreže te su razlučena dva osnovna područja drenažnih bazena.

26 stranica, 12 grafičkih priloga, 2 tablice, 9 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: drenažna mreža, digitalna analiza, Hortonovi zakoni, geomorfologija, Međimurske gorice

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić

Povjerenstvo: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić

doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

doc. dr. sc. Mladen Pahernik

Tema prihvaćena: 7. 2. 2017.

Rad prihvaćen: 13. 9. 2018.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Master Thesis

Faculty of Science

Department of Geography

Analysis of drainage system of Međimurske gorice

Martin Sever

Abstract: The paper analyzes drainage system of Međimurske gorice. Drainage system is derived from Digital elevation model (DEM). General and specific morphometric indicators of relief and drainage system were analysed. Streams are classified by Strahrel stream order method. Drainage basins were analyzed by Horton's laws. According to the results from analysis. Certain characteristics of drainage system were determined by analysis, and two basic areas of drainage basins were distinguished.

26 pages, 12 figures, 2 tables, 9 references; original in Croatian

Keywords: Drainage system, Digital analysis, Horton's laws, Geomorphology, Međimurske gorice

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Associate Professor

Reviewers: Neven Bočić, PhD, Associate Professor
Ivan Čanjevac, PhD, Assistant Professor
Mladen Pahernik, PhD, Assistant Professor

Thesis title accepted: 13/09/2018

Thesis accepted: 07/02/2017

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

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	1
2.	PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	2
2.1.	OBUHVAT ISTRAŽIVANOG PROSTORA	2
2.3.	GEOLOŠKA GRAĐA.....	5
2.3.1.	LITOLOGIJA	5
3.	IZVORI PODATAKA I METODE RADA.....	9
4.	MORFOMETRIJSKA OBILJEŽJA RELJEFA	11
4.1.	HIPSOMETRIJA.....	11
4.2.	NAGIB PADINA.....	12
4.3.	VERTIKALNA RAŠČLANJENOST RELJEFA	14
5.	ANALIZA DRENAŽNE MREŽE.....	15
6.	ZAKLJUČAK.....	24
	LITERATURA.....	25
	IZVORI.....	26

1. UVOD

Međimurske su gorice mikrogeomorfološka regija na području Međimurske županije. Dominira blago valoviti, destruktivnim procesima (erozija i derazija) jako diseciran tipičan rebrasti reljef, sličan reljefu prigorja (Prostorni plan Međimurske županije, 2001). Cilj rada je prikaz morfometrijskih pokazatelja drenažne mreže dobivenih analizom digitalnog modela reljefa. Analizirana drenažna mreža podskup je drenažnog sustava porječja Mure i Drave odnosno Crnomorskog slijeva.

1.1. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Dosadašnji radovi koji su obrađivali obilježja drenažne mreže Međimurskih gorica, odnose se na geografski šire područje i istražuju ponajprije geologiju i geomorfologiju istraživnog područja. Korišteni su i radovi koji se odnose na istraživanje drenažne mreže drugih sustava, no pojedine metode iz radove primijenjene su u ovome radu.

Analizu i prikaz geološkog sastava i tektonike istraživnog prostora izvršili su Marković i Mioč (1998) u sklopu tumača za list Čakovec L 33-57, osnovne geološke karte mjerila 1:100 000. U ovom korištena je geomorfološka regionalizacija Hrvatske koju je izradio Bognar (2001). Bognar (1978) u radu Tipovi reljefa kontinentalnog dijela Hrvatske određuje tipove reljefa u za dio kojemu pripada i istraživni prostor. Geomorfologiju i geologiju istraživnog područja detaljno je obradi Belec (1959) u radu H geomorfologiju Slovenskih in Međimurskih goric. Neke osnovne informacije o geomorfologiji istraživnog prostora zabilježene su Prostornom planu Međimurske županije (2001). Geomorfologijom istraživnog prostora bavila se Mlinarić (2011) u diplomskome radu Digitalna geomorfološka karta Međimurja.

Analizu porječja proveo je Orešić (1995) u radu Morfografski pokazatelji porječja Krapine. Bočić i Kvetk (2016) proveli su analizu drenažne mreže u radu Digitalna analiza drenažne mreže na primjeru Papuka.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. OBUHVAT ISTRAŽIVANOG PROSTORA

Međimurske gorice kao fizičko-geografska cjelina nemaju precizno određene granice te su ovdje postavljene granice koje odgovaraju istraživanju. Kao osnovni kriteriji za određivanje područja istraživanja uzeta su porječja tj. razvodnice određenih vodotokova, vodotoci, određeni reljefni oblici, te nagib padina.

Počevši od sjevera u smjeru kazaljke na satu kao granica je određena zapadna razvodnica Presičkog potoka tj. cijelo porječje potoka obuhvaćeno je istraživanjem. Nakon ušća Presičkog potoka u rijeku Ščavnicu kao granica postavljena je desna obala Ščavnice sve do njezino ušća u Muru. Dalje se granica nastavlja uz podnožje terasnog strmca Razkriško-videmske terase do potoka Gradišćak, te porječje potoka uzvodno od terasnog strmca obuhvaćeno istraživanjem. Granica se nastavlja linijom koja označava nagib terena od 2 stupnja do razvodnice potoka Brodec. Dalje se nastavlja istočnom razvodnicom potoka Pleškovec do terasnog strmca koji se izdiže iznad nizine Drave. Granica se nastavlja zapadno terasnim strmcom do zapadne razvodnice Trnave Dravske, gdje skreće prema sjeveru prema razvodnici Presičkog potoka.

Zapadnom granicom Međimurskih gorica smatra se državna granice između Slovenije i Hrvatske. No, u ovo istraživanje uključena su cjelokupna porječja vodotoka koji prolaze kroz Međimurske gorice, iako se ona djelomično nalaze u Sloveniji tj. u Slovenskim goricama.

2.2. GEOMORFOLOŠKI POLOŽAJ

Prema Bognarovoj geomorfološkoj regionalizaciji Hrvatske (Bognar, 2001) prostor Međimurskih gorica na najvišem stupnju regionalizacije pripada megamakrogeomorfološkoj regiji Panonskog bazena. Panonski bazen se dijeli na četiri mezogeomorfološke regije i prostor Međimurskih gorica pripada Gorsko – zavalskom području Sjeverozapadne Hrvatske. Ta regija dijeli se na pet subgeomorfoloških regija među kojima Međimurske gorice pripadaju Nizini rijeke Drave i Mure s Međimurskim pobrđem. Ta subgeomorfološka jedinica dijeli na dvije mikrogeomorfološke regije od kojih je jedna Međimurske gorice.

Međimurske gorice imaju izrazita svojstva niskog pobrđa čije apsolutne visine ne prelaze 350 metara Južne padine Međimurskih gorica blago su nagnute prema Dravi, dok su sjeverne nešto strmije i naglo prelaze prema Murskoj ravnici. Središnji grebeni protežu se paralelno s rijekama Murom i Dravom te istodobno čine razvodnicu između dviju rijeka (Mlinarić, 2011).

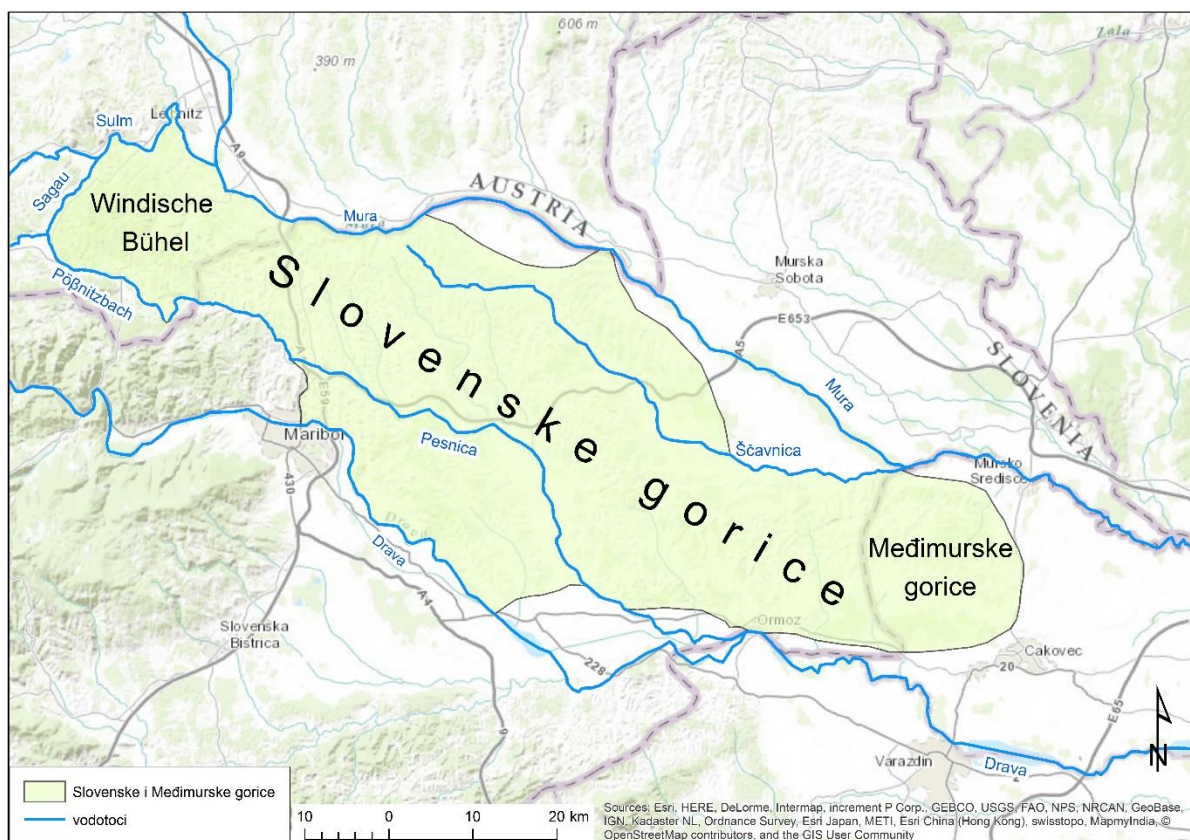
U morfostrukturnom smislu Međimursko pobrđe ulazi u kategoriju denudacijsko akumulacijskog tipa reljefa (sl. 1), dok nizinski prostor Mure i Drave ulazi u kategoriju akumulacijsko tektonskog tipa reljefa (Bognar, 1980).



Sl. 1 Reljef Međimurskih gorica

Međimurske gorice dio su veće dio geomorfološke cjeline koja se dijeli na tri dijela prema državnim granicama (sl. 2). Međimurske gorice u Hrvatskoj, Slovenske gorice u Sloveniji te Windische Bühel u Austriji čine jednu geomorfološku cjelinu. Ta geomorfološka cjelina proteže se u smjeru sjeverozapad-jugoistok u duljini od oko 80 km, a široka je između 10 km i 40 km. Slovenske gorice (Windische Bühel) najviše su u sjeverozapadnome dijelu gdje se nalazi najviši vrh Kreuzberg visine 633 metara. Prema jugoistoku odnosno prema Međimurskim goricama njihova visina se spušta te je najviši vrh Međimurskih gorica

Cimermanov breg visine 345 metara¹. Međimurske gorice nestaju spajanjem nizina Drave i Mure.



Sl. 2. Geomorfološka cjelina Slovenske gorice

Izvor: ESRI, 2017

Prema upravnoj podjeli Međimurske gorice na regionalnoj razini u potpunosti pripadaju Međimurskoj županiji. Na lokalnoj razini Međimurske gorice gotovo u potpunosti prekrivaju općine Štrigova, Gornji Mihaljevec, Sveti Juraj na Bregu, djelomično općine Sveti Martin na Muri i Selnica, te rubno Nedelišće, Šenkovec i Grad Mursko Središće.

¹ Do 2015. godine smatralo se da je najviši vrh Međimurja Mohokos visine 343,58 metara. Novijom izmjerom utvrđeno je da Cimermanov breg koji je od Mohokosa udaljen 500 m u smjeru zapad-sjeverozapad visine 345,03 metara, te je viši od Mohokosa za 1,45 metara (Hrvatski planinarski savez, 2015).

2.3. GEOLOŠKA GRAĐA

2.3.1. LITOLOGIJA

U geološkom sastavu Međimurskih gorica prevladavaju sedimenti neogenske i kvartarne starosti (sl. 3). Naslage se sastoje od marinskih (pijeska, pješčenjaka, pejskoviti lapori, vapnenci) i slatkovodnih (lapor, glina i različiti klastiti) sedimenata. Kvartarne naslage prekrivaju glavninu istraživanog prostora (50%).

Najstarije naslage na površini u Međimurskim goricama su iz razdoblja tortona koji je započeo prije 11,6 milijuna godina. Otvorene su u jezgri strukture Sveti Urban – Veliki Grabrovnik te izgrađuju područje Koga. (Marković i Mioč, 1998).

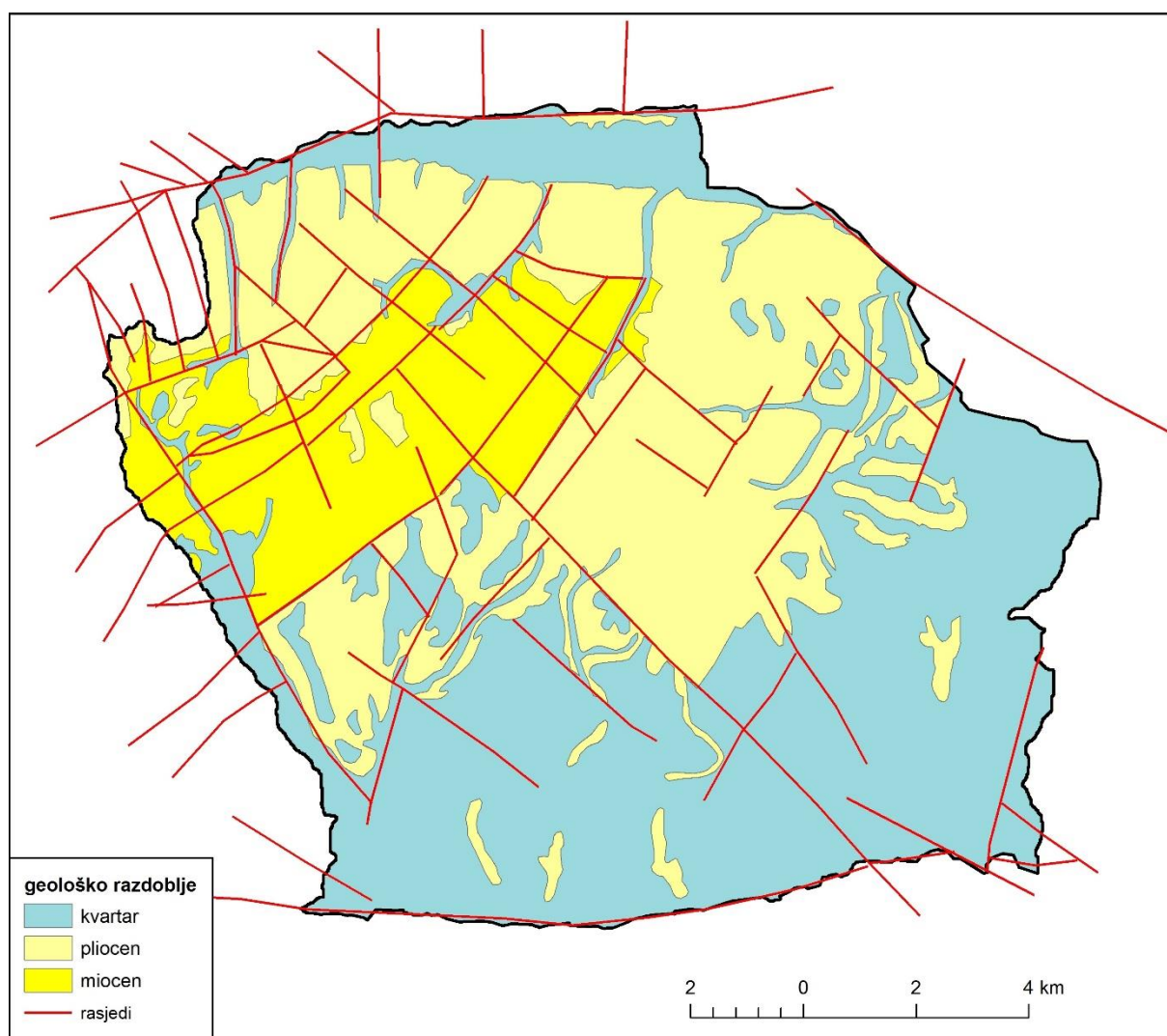
Izdanci vapnenačkih, djelom konglomeratičnih pješčenjaka i biogenih vapnenaca zapaženi su samo u najnižim horizontima, dok na više slijede žućkasti i sivi, tanko uslojeni lapori, pjeskoviti lapori, i pijesci s proslojcima pješčenjaka. Na nekoliko mjesta zamijećeni su i laminirani lapori, uz koje vjerojatno, vezane i pojave vapnenačkih pješčenjaka i glinovitih vapnenaca. Debljine slojeva u ovim naslagama su od nekoliko milimetara do 10-ak cm (Marković i Mioč, 1998).

Naslage iz razdoblja sarmata taložene su na tortonskim sedimentima. Otvorene su na području Koga, Svetog Urbana, Grabrovnika i Železne gore gdje su razvijene u obliku pojedinačnih erozijskih ostataka. Zastupljene su tankoslojevitim, tankopločastim, laminiranim laporima, svjetlosive i žućkaste do svjetlosmeđe boje. Debljina sarmatskih naslaga na otvorenim izdancima u Međimurskim Goricama iznosi 20-40 metara (Marković i Mioč, 1998).

Naslage donjopanonske starosti prostiru se na području Koga te su identificirane najednom izdanku u Železnoj gori. Riječ je o blijedo žućkastom, neuslojenom laporu čija je debljina 10-ak metara (Marković i Mioč, 1998).

Slojevi gornjopanonske starosti nalaze na području Koga, Svetog Urbana, Grabrovnika i Železne gore te okružuju slojeve tortonske i sarmatske starosti. Pjeskoviti lapori su žućkaste do žućkasto-smeđe ili sive boje. Sadrže promjenjive količine CaCO_3 (5-40%), što znači da su zastupljeni različiti varijeteti sedimenata – od glina do lapora. Pijesci bojom sliče laporima i sadrže pojedinačne tanje ili deblje slojeve pjeskovitih lapora i glina. Na otvorenim izdancima debljina gornjopanonskih naslaga iznosi 50-60 metara (Marković i Mioč, 1998).

Naslage iz gornjeg ponta najrasprostranjenije su naslage na području Međimurskih Gorica. Izrađuju pretežiti dio sjeverozapadnog krila Ormoško-selničke antiforme, razvijene su na jugoistočnome krilu spomenute strukture od potoka Trnava Dravska do Dragoslavca, te na njezinom tjemenu i krilima na širem području Selnice. Slijed gornjopontskih sedimenata počinje izmjenom pjeskovitih lapora, na koje se nadovezuju tanje uslojeni pjeskoviti lapori i zaglinjeni pijesci. U vršnom dijelu naslaga dominiraju pijesci, uz koje se još pojavljuju šljunci, pješčenjaci, pjeskoviti lapori, lapori i gline (Marković i Mioč, 1998).



Sl. 3. Pojednostavljena geološka karta Međimurskih gorica

Izvor: Marković i Mioč, 1998

Naslage lesa i njemu sličnih sedimenta istaložene su na gornjopontskim naslagama. Istaložene su na području Stanetinca, Martinovskog brega i Štrigove. Debljina naslaga lesa i praporolikih taložina iznosi 2-10 metara (Marković i Mioč, 1998). Bognar (1978) navodi da debljina lesnih naslaga kod Štrigove iznosi više od 30 m.

2.3.2. STRUKTURNI SKLOP I TEKTONIKA

Slovenske i Međimurske Gorice se izdvajaju kao zasebna tektonska jedinica koja se sastoji od tri podjedinice: Kapelski blok, Blok Bučkovci i Ormoško-selnička antiforma. Prostor Međimurskih Gorica u cijelosti je smješten na području Ormoško-selničke antiforme.

Slovenske i Međimurske Gorice odvojene su Radenskim i Ljutomerskim rasjedom od tektonske jedinice Murska depresija, dok je od dravske depresije južno, dijeli Čakovečki rasjed. Izdignuta je u odnosu na Mursku i Dravsku depresiju krajem pliocena i tijekom pleistocena, pri čemu su predneogenske i neogenske naslage dezintegrirane u pojedine blokove, odnosno manje strukturne jedinice (Marković i Mioč, 1998), među kojima se mogu izdvojiti prije navedene podjedinice. U geološkoj građi antiforme učestvuju tortonske (badenske), sarmatske, panonske i pontske naslage te kvartarne taložine. U području južno od Ljutomerskog rasjeda izražene su intenzivne deformacije, koje se iskazuju u obliku česte promjene položaja naslaga, što je osobito vidljivo duž pojedinih rasjeda pružanja SI-JI. Longitudinalni rasjedi su pružanja SI-JZ, i njima je antiforma ispresijecana u blokove, odnosno manje strukturne jedinice. Stubastim spuštanjem duž tih rasjeda SI-JZ nastao je antiformalni oblik strukture. Kretanje duž longitudinalnih rasjeda bilo je kompresijskog karaktera, na što često upućuju strmo položeni slojevi uz rasjedne kontakte. Osnovna antiforma je kasnije ispresijecana poprečnim (transverzalnim) rasjedima pružanja SZ-JI, koji su obično relaksacijskog karaktera, a uzduž njih čestu su formirane široke aluvijalne doline. Taj sustav rasjeda dezintegrirao je prvotno Ormoško-selničku tektonsku jedinicu., što se najbolje vidi njezinom središnjem bloku, gdje je nastalo više blokova i manjih struktura promjenjivog pružanja. Na potezu Sveti Urban – Grabrovnik, struktura se generalno pruža pravcem JZ-SI, dok se dalje prema Selnici i Peklenici pruža pravcem Z-I (Marković i Mioč, 1998). Mioč i Marković (1998) dijele Ormoško-selničku antiformu na pet manjih jedinica: Sjeverozapadno

krilo, centralnu antifromnu zonu, jugoistočno krilo, antiklinalu Selnica-Peklenica i sinklinalu Dragoslavec.

Sjeverozapadno krilo, prostire se od Miklavškoga rasjeda do Ljutomerskoga rasjeda. Na njemu dominiraju pontski sedimenti. Krilo je ispresijecano longitudinalnim rasjedima pružanja SI-JZ i transverzalnim sustavom pružanja SZ-JI, a naslage su nagnute prema sjeverozapadu 40-70° (Marković i Mioč, 1998). Centralna antiforma na istraživanom prostoru čini antiklinala Grabrovnika zona koja se pruža od Svetog Urbana do Vučkovca u smjeru JZ-SI. U jezgri strukture otvorene su tortonske, a na krilima sarmatske i panonske naslage. Krila su nagnuta prema SZ, odnosno prema JI pod 20-25° (Marković i Mioč, 1998).

Antiklinala Selnica-Peklenica ima os pružanja Z-I. U otkrivenome dijelu antiklinale od Vučkovca do Selnice, naslage obaju krila nagnute su 10-25° prema sjeveru, odnosno jugu, dok je istočnije nadsvođenje slabije izraženo, struktura lagano tone i pokrivena je naslagama kvartara. Ta struktura je desetljećima istraživana zbog ležišta ugljikovodika i ugljena, a nađena i termo-mineralna voda (Marković i Mioč, 1998).

Jugoistočno krilo vrlo je rasprostranjeno i asimetrično položeno u odnosu na sjeverozapadno. Od centralne zone odvojeno je frankovski rasjedom, a prema jugoistoku se spušta u južne i istočne dijelove Međimurskih Gorica i Međimurskog ravnjaka. Sjeverozapadni dio jedinice izgrađen je od gornjopontskih sedimenata, dok je jugoistočni pretežito prekriven kvartarnim, žutosmeđim, pjeskovitim glinama ili pjeskovitim prapolikim glinama (Marković i Mioč, 1998).

Sinklinala Dragoslavec izražena je u gornjopontskim naslagama, dok joj se os nazire pravcem SZ-JI, znači gotovo okomito na os centralne antifromne zone. Slojevi su na krilima blago nagnuti, u većem dijelu strukture horizontalni i ona se prema jugoistoku lagano spušta pod kvartarne taložine međimurskog ravnjaka (Marković i Mioč, 1998).

3. IZVORI PODATAKA I METODE RADA

Temeljni postupci analize drenažne mreže izvršeni su računalnom analizom digitalnog modela visina (DEM). Prvotno je korišten DEM preuzet s internetske baze podataka Službe za geološka istraživanja SAD-a (United States Geological Survey – USGS). Rezolucija DEM-a iznosila je 30 x 30 metara. Provjerom kvalitete DEM-a utvrđene su određene netočnosti. Usporedbom realnih visini vrhova i kota utvrđeno je nepodudaranje podataka u visini od približno 10 do 30 metara, također na više zaravnjenim dijelovima terena visine nisu odgovarale realnim reljefnim oblicima. Kasnije su vektorizirane slojnice i kote i vodotoci s topografske karte mjerila 1:25 000 kojoj je pristupljeno pomoću web servisa Državne geodetske uprave (DGU). Ukupno je vektorizirano 2949 km slojnica, 292 kilometara vodotokova i 224 visinske kote. Na temelju tih podataka i pomoću funkcije TopoToRaster stvoren je digitalni model reljefa rezolucije 20 x 20 metara.

Na temelju DEM-a prvo su analizirani opći morfometrijski pokazatelji reljefa. Ovdje su izvršene analize hipsometrije, nagib padina te vertikalna raščlanjenost reljefa. Nakon analize općih morfometrijskih pokazatelja provedena analiza drenažne mreže. Za digitalnu obradu podataka korišten je ArcGIS programski paket tvrtke ESRI. Analiza drenažne mreže provedena je pomoću Hidroloških alata (Hydrology) koji se nalaze unutar ekstenzije Spatial Analyst. ArcGIS Spatial Analyst je ekstenzija koja se sastoji od paketa alata koji omogućuju obavljanje sveobuhvatnih prostornih analiza temeljenih na rasterskim podacima (ESRI, 2014). Prvo je korištena funkcija „Fill“, koja služi za popunjavanje „uviraka“ (sinks) na DEM-u. Uvircima se na rasteru smatraju sve ćelije koje nemaju smjer otjecanja, odnosno sve okolne ćelije imaju veću nadmorsku visinu.

Sljedeća je korištena funkcija Flow Direction pomoću koje je određen smjer otjecanje svake ćelije na DEM-u. Funkcijom se određuje smjer otjecanje pomoću D8 algoritma (ESRI, 2014). Svaku ćeliju, osim rubnih ćelija rastera, okružuje osam ćelija, te postoji osam mogućih smjerova otjecanja iz promatrane ćelije. Smjer otjecanje se određuje prema smjeru ćelije koja ima najmanju vrijednost u odnosu na promatranu ćeliju. Ako najmanju vrijednost prema promatranoj ćeliji ima više ćelija, susjedstvo se povećava tako dugo dok se nova najmanja vrijednost ne nađe.

Raster koji je dobiven funkcijom „Flow direction“ poslužio je kao ulazni raster za funkciju „Flow accumulation“. Ta funkcija prikazuje koliko ćelija uzvodno utječe u određenu ćeliju nizvodno. Ćelije sa visokom vrijednošću se mogu odrediti kao tokovi, kod ćelije se vrijednošću nula predstavljaju vrhove i grebene (ESRI, 2014).

Izlazni raster funkcije „Flow accumulation“ je primijenjen je u stvaranju mreže vodotokova. Definirano je minimalno slijevno područje od 250 ćelija (0,1 km²). Funkcijom „Set null“ dobiven je raster iz kojeg je pomoću funkcije „Stream to feature“ dobivena generirana drenažna mreža u vektorskom obliku.

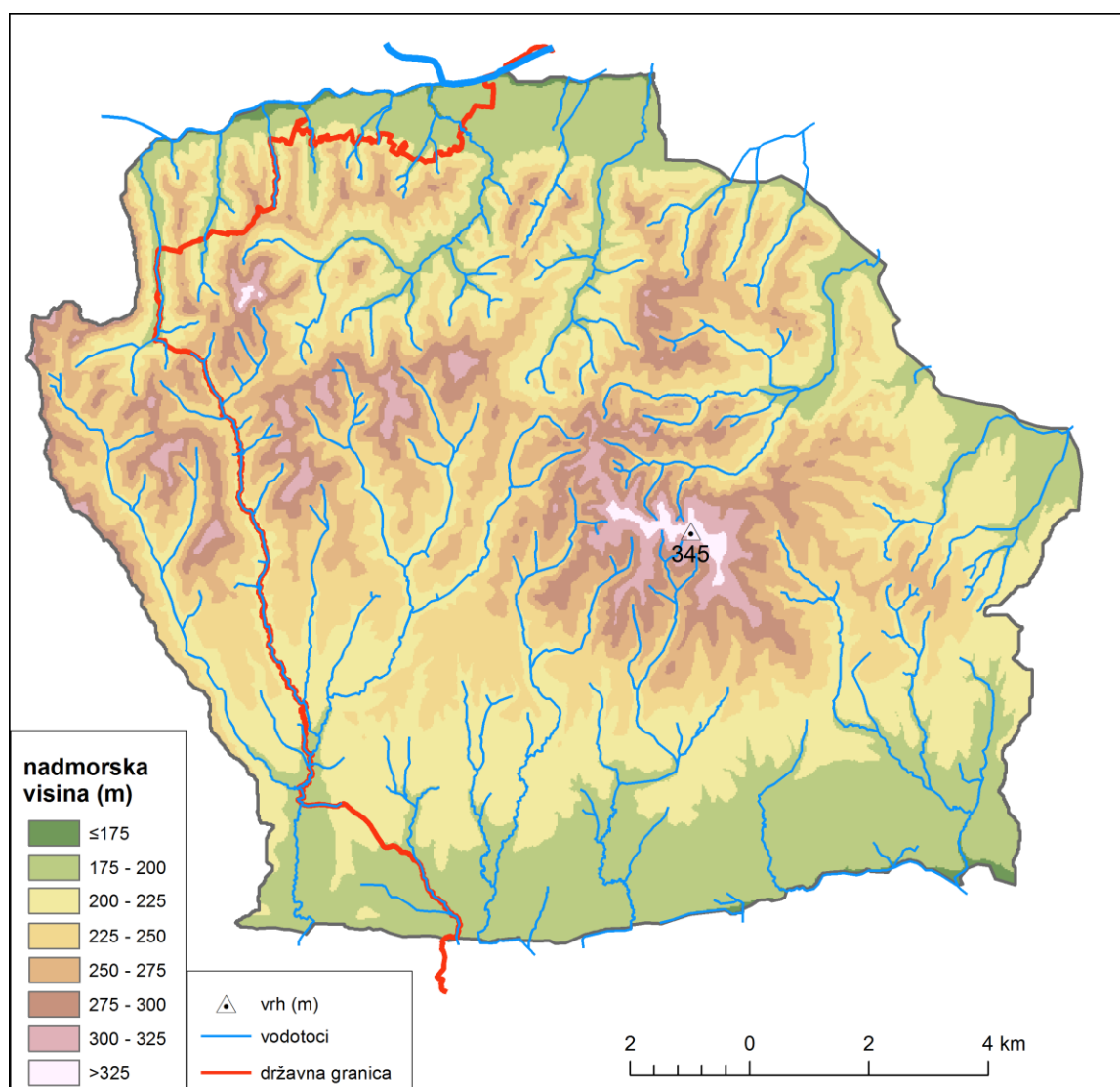
Dobivena drenažna mreža klasificirana je Strahlerovom metodom klasifikacije tokova. Tokovi prve kategorije su tokovi koji nemaju pritoka. Drugu kategoriju predstavljaju tokovi koji nastaju spajanjem dva toka prve kategorije, dva toka druge kategorije daju tok treće kategorije i tako dalje. Uklonjene su greške paralelnih tokova, te su segmenti istog toka iste kategorije spojeni u jedan tok, čime je omogućena daljnja analiza i usporedba drenažnih sustava. Izračunata je gustoća drenažne mreže uz pomoć funkcije „Kernel's density“. Za površinu susjedstva odabran je krug veličine 1 km².

Provedena je analiza pojedinih porječja. Izračunata je površina porječja, duljina porječja, duljina najduljeg toka, indeks kompaktnosti i raspon reljefa. Naposljetku izračunati su indeksi bifurkacije i indeksi duljine tokova.

4. MORFOMETRIJSKA OBILJEŽJA RELJEFA

4.1. HIPSOMETRIJA

Najniža vrijednost nadmorske visine istraživanih prostora iznosi na 164 metara, najviša vrijednost 345 m (sl.4), a prosječna visina iznosi 228 metara. Najviše površine zauzima visinski pojas od 200 do 250 metara (52%), pojas između 164 i 200 metara zauzima 24% površine, pojas od 250 do 300 metara zauzima 21%, a najmanje zauzima pojas iznad 300 metara, samo 9% površine.

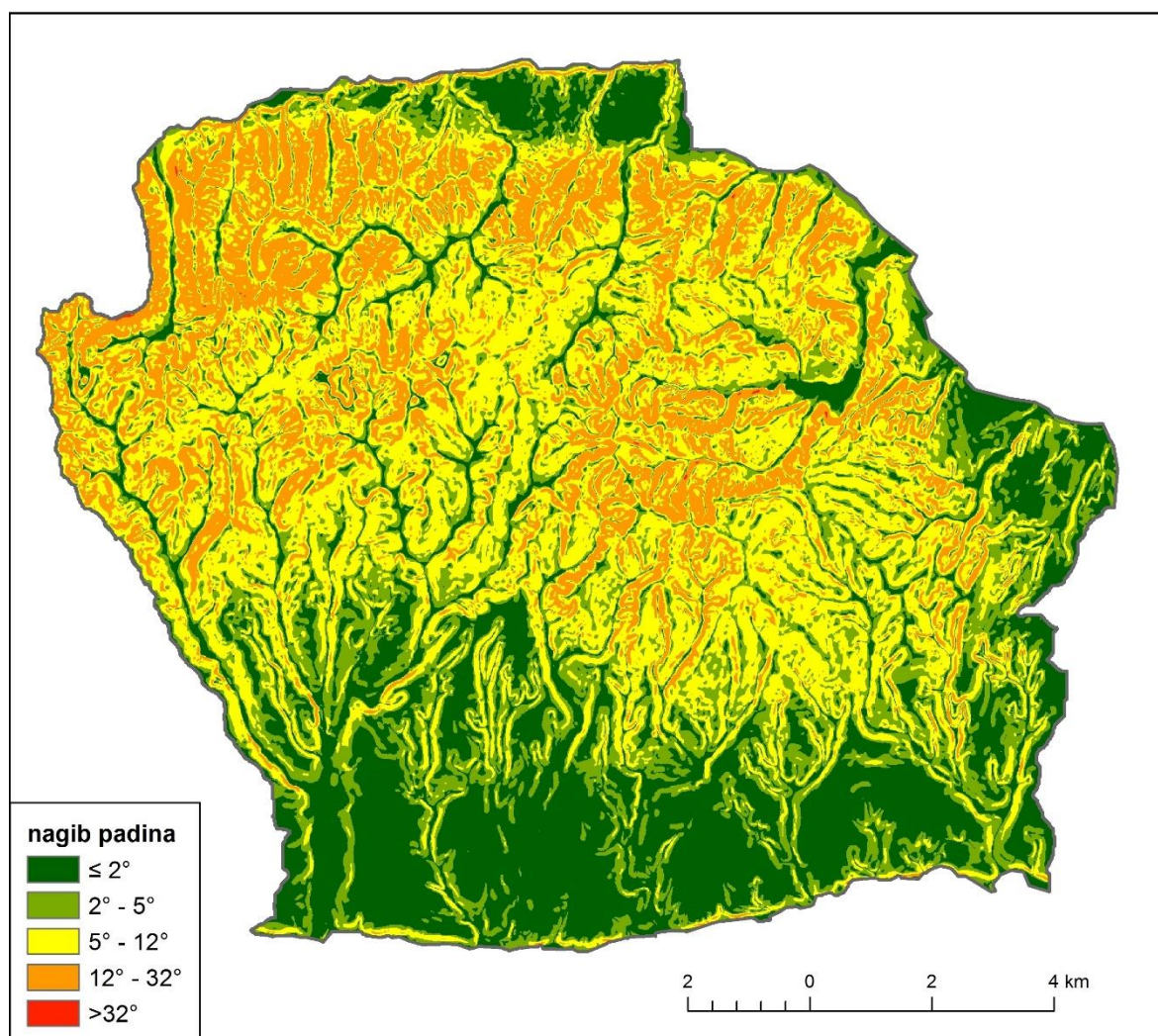


Sl. 4. Hipsometrijska karta Međimurskih gorica

Nakon izdizanja pobrđa došlo je do intenzivne erozijske aktivnosti te je prvotni peneplan „razrezan“ (Belec, 1959). Ostali su pojedinačni grebeni sa zaobljenim vrhovima približno jednakih visina međusobno odvojeni plitkim sedlima (Belec, 1959).

4.2. NAGIB PADINA

Na istraživanom prostoru izdvojeno je pet kategorije nagiba. Najveći zabilježen nagib na DEM-u je 39°, no u stvarnosti se na terenu može uočiti da postoje i veći nagibi pa tako Mlinarić (2011.) izdvaja svih šest kategorija. Broj kategorija dobiven iz digitalnog reljefa modela je manji zbog rezolucije modela te je prostor generaliziran (sl 5.).

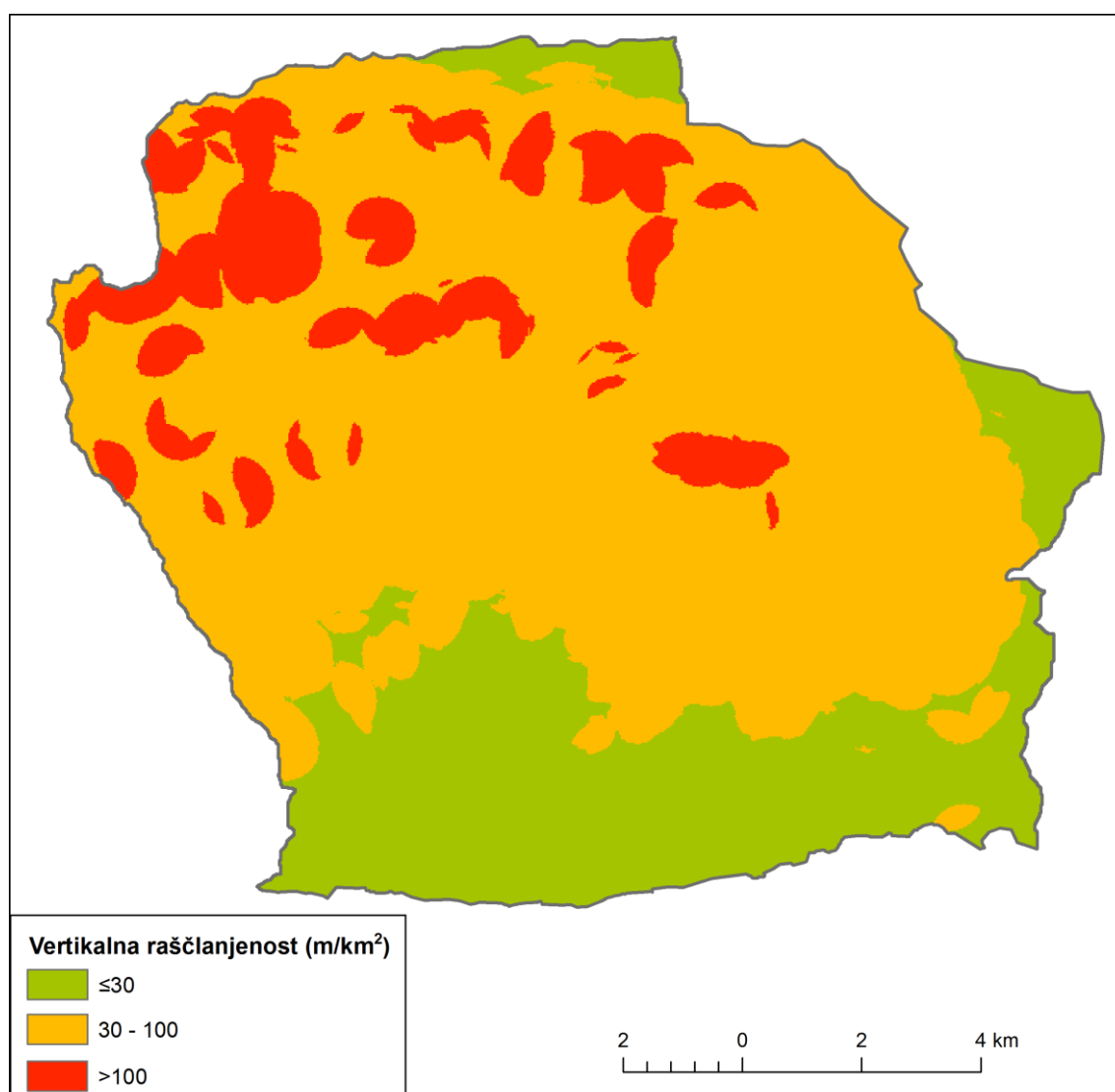


Sl. 5. Nagibi padina Međimurskih gorica

Kategorija 5° - 12° zauzima najveći dio (35%) istraživnog prostora . Obuhvaća nagnute dijelove pobrđa gdje dolazi do aktiviranja padinskih procesa – derazije (spiranje, jaruženje, kliženje) (Mlinarić, 2011). Nagib od 12 - 32° odnosi se na pojedine nagnutije dijelove na kojima su izraženiji procesi spiranja, jaruženja, kliženja te erozije. Takvih nagiba ima najviše u sjevernome i središnjem dijelu Međimurskih gorica. Nagibi veći od 32° stupnja u manjoj mjeri su zastupljeni, odnose se na dijelove padina koji su tektonski predisponirani ili su antropogenim utjecajem preoblikovani u strmce (Mlinarić, 2011). Nagib vrijednosti 2° - 5° , zauzimaju dolinska dna manjih potočnih dolina, rubovi dolinskog dna većih potočnih dolina, te južne padine Međimurskog gorica koje su blago spuštaju prema nizini Drave. Uzvišenja su na svojim vrhovima blago zaobljena te u ovo kategoriju pripadaju i središnji grebeni pojedinih uzvišenja Nagib vrijednosti od 0° do 2° imaju dna većih potočnih dolina, terasa rijeke Mure i te južni i istočni dio Međimurskih gorica.

4.3. VERTIKALNA RAŠČLANJENOST RELJEFA

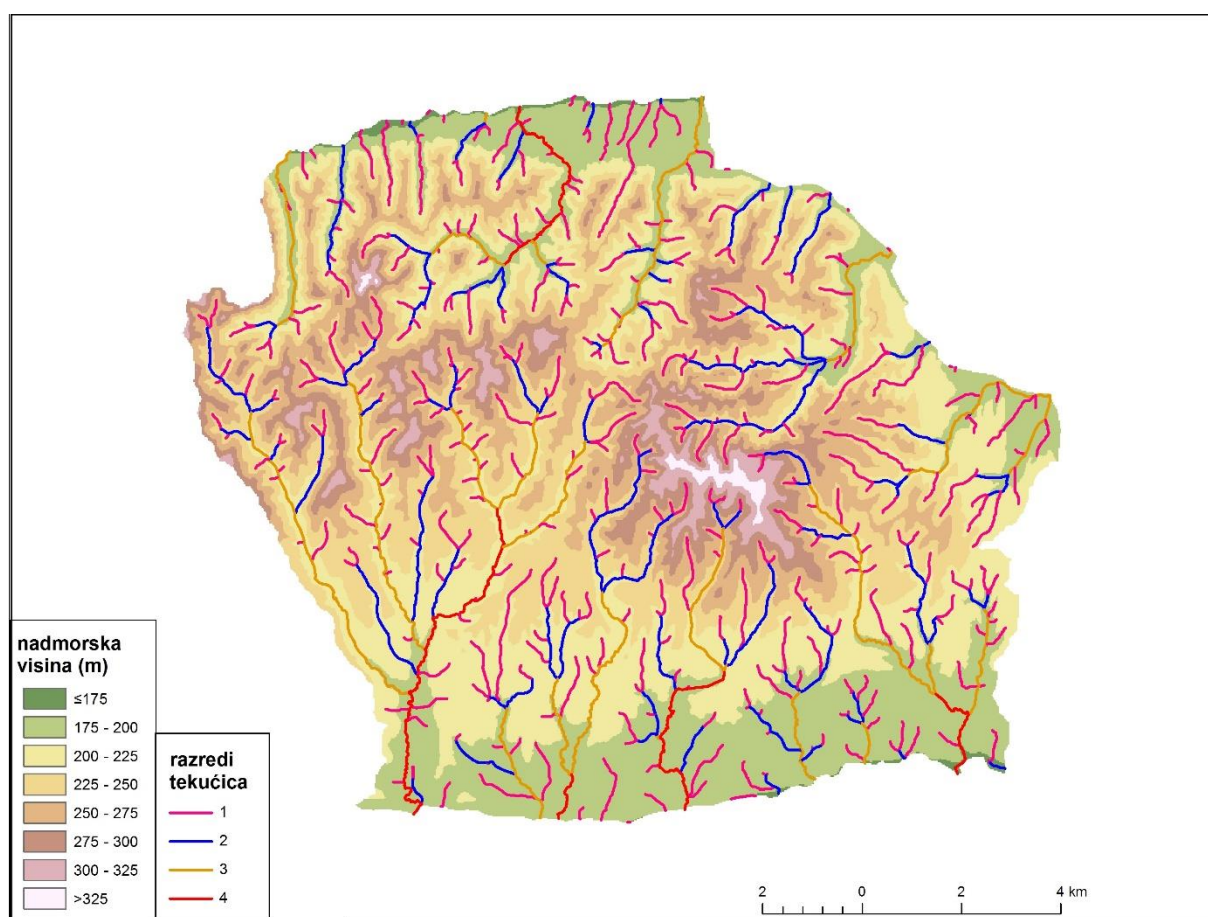
Na istraživanom području izdvojene su tri kategorije vertikalne raščlanjenosti (sl. 6.). Najveći dio Međimurskih gorica ulazi u kategoriju slabo raščlanjenog reljefa 30-100 m/km². U kategoriju slabo raščlanjenih ravnica (5-30 m/km²) ulazi najsjeverniji i najjužniji dio istraživanog područja koji predstavljaju već prijelazno područje prema ravnicu Mure odnosno Drave. Najmanje prostora ulazi u kategoriju umjereno raščlanjenog reljefa >100 m/km². U tu kategoriju ulaze najizdignutiji grebeni u središnjem i sjevernom dijelu Međimurskih gorica.



Sl. 6. Vertikalna raščlanjenost reljefa Međimurskih gorica

5. ANALIZA DRENAŽNE MREŽE

Prikazana su i analizirana temeljna morfografska obilježja porječja određenih vodotoka Međimurskih Gorica. Računalnom analizom utvrđena su 25 drenažna bazena (sl. 10.) ukupne površine 176 km² tj. 95 % ukupne (186 km²) površine područja. Ostatak predstavlja rubna područja koja se izravno dreniraju u nizinu Mure i Drave. Ukupna prosječna duljina tokova svih porječja je 751,1 metar po drenažnom bazenu. Prosječan broj kategorija po Strahleru (sl. 7.) iznosi 2.48, a prosječna površina porječja 6.9 km². Ispodprosječnu duljinu toka ima ukupno 13 od 25 drenažnih bazena. Ukupno 12 porječja ima dvije ili jednu kategoriju. Prema tome se može zaključiti da drenažna mreža Međimurskih gorica ima pravilnu distribuciju bazena prema veličini.



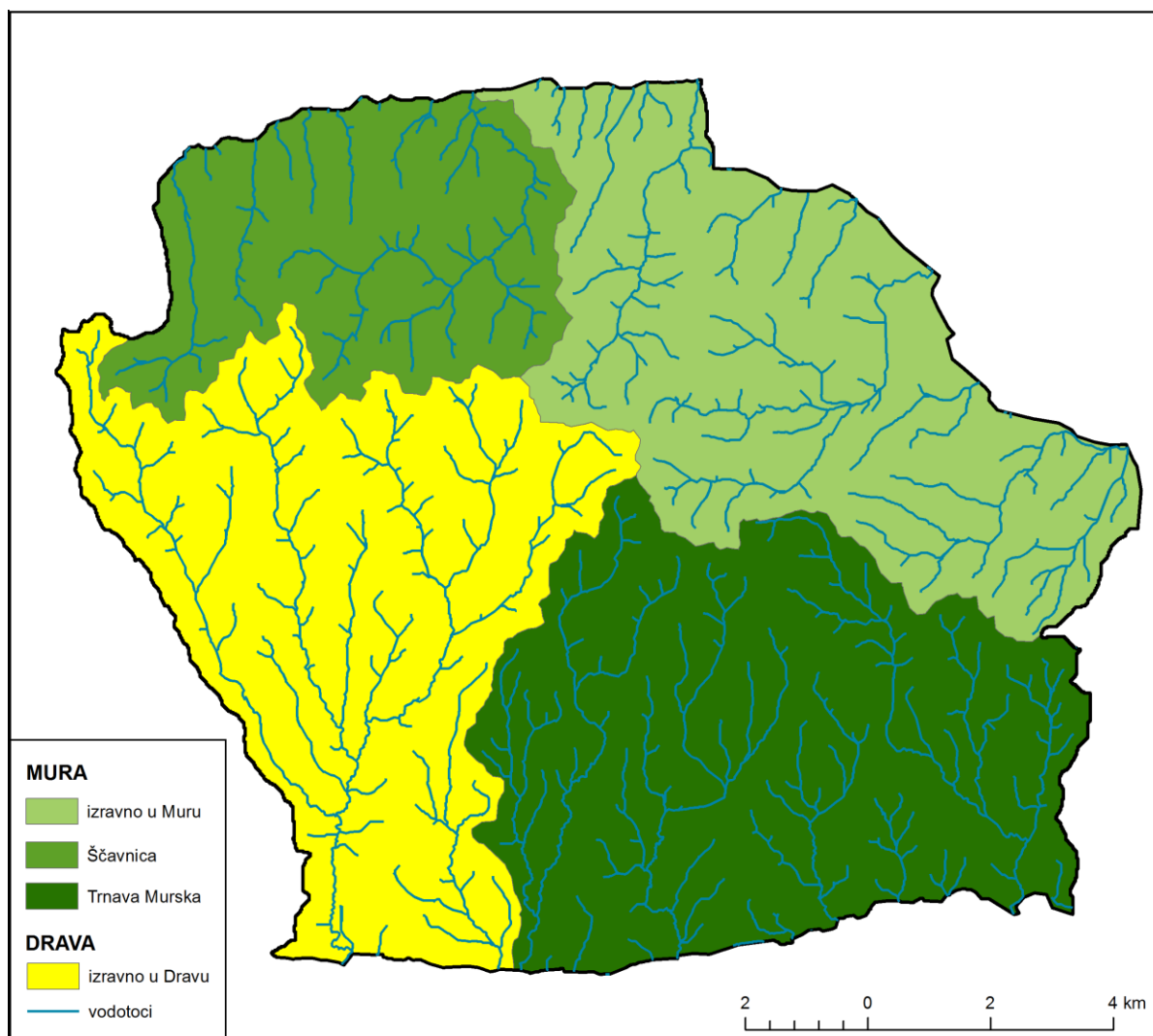
Sl. 7. Kategorizacija tekućica Strahlerovom metodom

Gustoća drenažne mreže koristan je pokazatelj prostornog rasporeda i intenziteta erozije nekog prostora. Što je drenažna mreža razgranatija tj., što je veća duljina tokova po

jedinici površine to je snažnija erozija (Bočić, Kvetek, 2016). Prosječna gustoća drenažne mreže iznosi 1.65 km/km².

Izračunata je površina porječja, duljina razvodnice, duljina glavnog toka, indeks kompaktnosti i raspon reljefa. Prikazana su porječja koja su površinom veća od 2.5 km². Porječja su ograničena na područje istraživanog prostora, te samo 3 vodotoka (Jalšovski potok, Presički potok i Globočki potok) od ukupno 12 imaju prikazano i analizirano cjelokupno porječje od razvodnice do ušća. Kao glavni vodotok određen je najdulji vodotok. Korišteni su vodotoci koji su izgenerirani iz digitalnog modela reljefa, te je kao izvor vodotoka određeno slijevno područje od 0.1 km².

Porječje je dio prostora što ga odvodnja tekućica sa svojim pritocima na površini kopna i kroz podzemlje. Površina porječja je cijela površina odvodnjavana sustavom tekućice omeđena razvodnicom, a projicirana na vodoravnu plohu (Orešić, 1996). Cjelokupno područje pripada Crnomorskom slijevu tj. porječju rijeke Drave. Na najvišoj razini u Međimurskim goricama mogu se izdvojiti dva porječja, to su porječje Drave i porječje Mure. Porječju Mure pripada 134 km² (71.7%), a porječju Drave 53 km² (28.3%) od ukupne površine područja. Porječje Mure može se podijeliti na tri skupine. Područje koje odvodnjavaju vodotoci koji utječu izravno Muri, oni pritječu sa sjevernih i istočnih padina Međimurskih gorica. Područje koje odvodnjava rijeka Ščavnica, desna pritoka Mure, to su sjeverne padine istraživanog prostora. Treće je područje koje odvodnja Trnava Murska, desna pritoka Mure, koje nastaje spajanje tekućica s južnih padina Međimurskih gorica, te otječe istočno prema Muri. Rijeka Drava odvodnja zapadni dio južnih padina Međimurskih gorica (sl. 8).



Sl. 8. Osnovna porječja Međimurskih gorica

Od 12 detaljnije analiziranih drenažnih bazena gotovo četvrtinu ukupne površine (24.2%) zauzima drenažni bazen Trnave Dravske. Iz priložene tablice (tab. 1) i vidljivo da veća površinu zauzimaju drenažni bazeni koju odvodnjavaju prema jugu i istoku, što se može objasniti blažim spuštanjem južnih padina Međimurskih gorica te što se je središnji greben koji dijeli sjeverne i južne padine pomaknut sjevernije od sredine istraživanog prostora. To ima za posljedicu da su vodotoci na južnim padinama dulji nego na sjevernim. Belec (1959.) navodi da potoci na južnim i na sjevernim padinama najčešće teku uz istočni rub doline, te istočne strane dobivaju kraće pritoke. Najdulji vodotoci većinom prolaze središnjim dijelom porječja, a iznimku predstavlja porječje Trnave Dravske gdje se najdulji vodotok nalazi uz zapadnu

razvodnicu. No, Trnava Dravska ima razmjeno pravilan srcolik oblik porječja, te vodotoci koji odvodnjavaju zapadni, središnji i istočno dio porječja malih su razlika u duljini.

naziv vodotoka ²	površina porječja (km ²)	duljina vodotoka (km)	duljine razvodnice (km)	indeks kompaktnosti	raspon reljefa (m)	utječe u
Trnava Dravska	45.0	14.1	44.4	0.53	158	Drava
Pleškovec	15.2	10.5	22.2	0.62	180	Trnava Murska
Jalšovski potok	15.1	9.3	19.9	0.69	175	Ščavnica
Dragoslavac	14.0	9.3	17.7	0.75	167	Trnava Murska
Gornji potok	13.9	8.0	19.0	0.70	166	Mura
Trnava Murska	13.0	10.1	21.0	0.61	159	Mura
Brodec	11.4	6.6	15.8	0.76	114	Mura
Gradišćak	8.8	7.0	16.6	0.63	139	Mura
Zelena	6.9	6.1	15.2	0.61	64	Drava
Goričica	6.3	5.4	11.8	0.75	134	Trnava Murska
Presički potok	4.3	5.2	13.6	0.54	146	Ščavnica
Globočki potok	2.8	3.5	8.3	0.72	171	Ščavnica

Tab. 1 Osnovna obilježja porječja Međimurskih gorica

Potoci koji utječu u rijeku Ščavnicu kratki su, bez većih pritoka, imaju pravilan smjer otjecanja jug-sjever i porječja su izdužena u istome smjeru. Jedina iznimka je Jalšovski potok čije je porječje zauzima 54% ukupne površine koje odvodnjava rijeka Ščavnica, te je najdulji tok duljine 9.3 km što je 4.1 km više nego Presički potok koji je sljedeći najdulji tok. Također ima nekoliko pritoka s lijeve i desne strane (sl. 9) te ima smjer otjecanje koji skreće više puta do ušća u rijeku Ščavnicu. Generalni smjer otjecanje mu je prvo prema sjeveru, kasnije skreće

² Nazivi vodotoka koji se ovdje koriste najčešće je naziv za najniži dio toka u porječju. U različitim izvorima (TK25, HOK, OGK, katastarski planovi, Hrvatske vode) mogu se pronaći različiti nazivi za iste vodotoke, te različiti nazivi za dijelove istog toka. Primjerice za Jalšovski potok pronađeno je još 7 naziva: Jalšovečki potok, Gibinski potok, Trebeški potok, Štrigovski potok, Leskovski potok, Jalšovec, Ribjak.

istoku pa ponovno prema sjeveru kao i ostali vodotoci koje utječu u Ščavnicu. Skretanje Jalšovskog potoka može se povezati s tektonskima pomacima jer na njegovom toku uočljiva su dva laktasta skretanje, a skretanja se poklapaju i pružanjem rasjeda. Kratki tokovi mogu se objasniti pružanjem središnjem grebena kao što je već prije napomenuto, te time što je terase pleistocenska terasa ovdje izrazito uska, i što Ščavnica, a kasnije i Mura protječe uz sam rub terasnog strmcu.



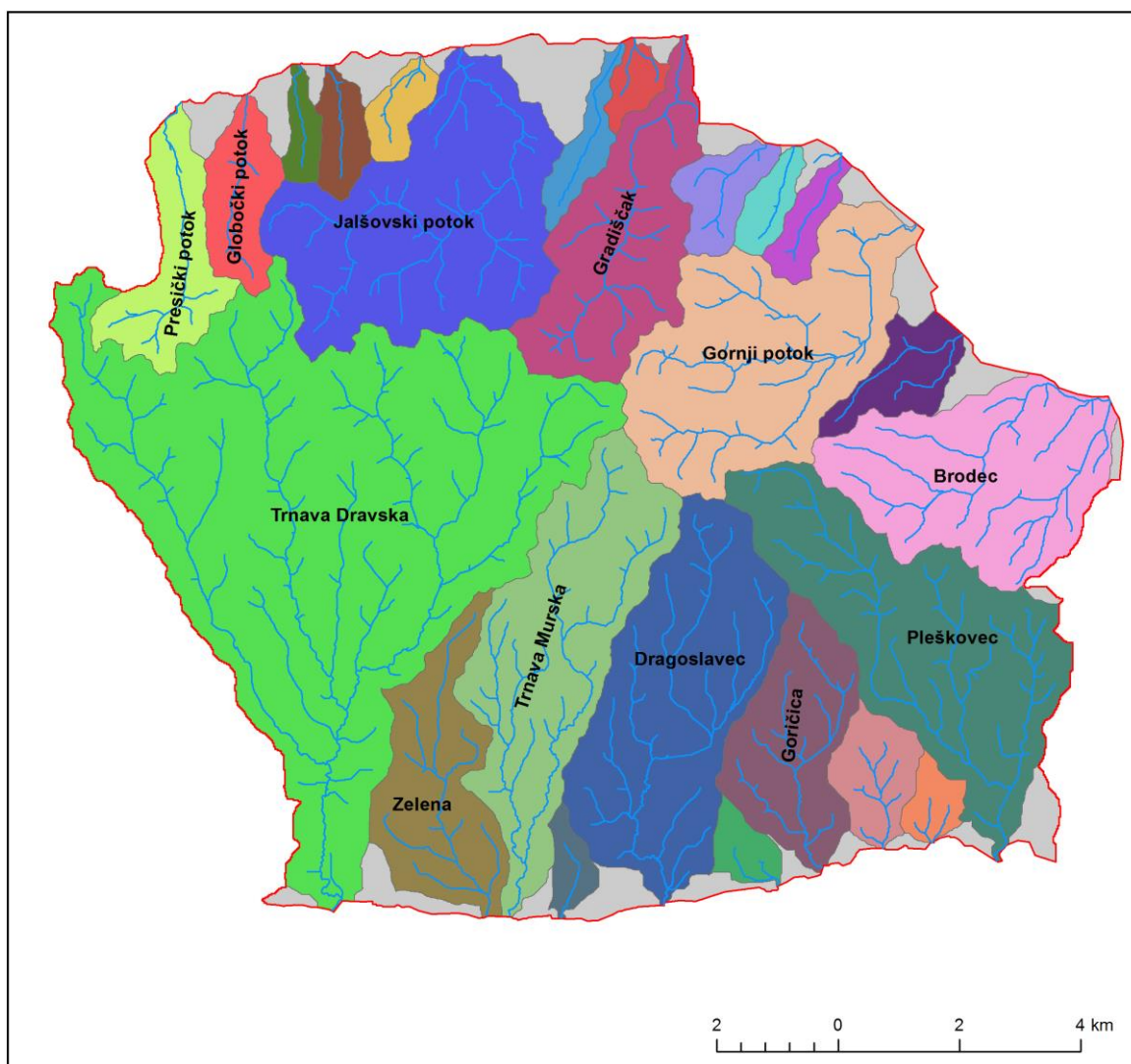
Sl. 9 Jaruga u drenažnom bazenu Jalšovskog potoka

Potoci koji utječu izravno u rijeku Muru, počevši od područja koje odvodnjava Ščavnica pružaju se u smjeru jug-sjever te prema području koje odvodnjava Trnava Murska skreću sve više prema smjeru zapad-istok i njihova porječja postaju šira i razvedenija. Tako i nagibi terena postaju sve blaži i doline šire. Ova porječja i imaju najveći indeks kompaktnosti u odnosu na porječja u ostalim područjima. Na toku Gornjeg potoka mogu se također uočiti dva laktasta skretanja koja bi mogla biti posljedica tektonskih kretanja, no ovdje se ta skretanje ne poklapaju s pružanjem rasjeda.

Potoci čijim spajanjem nastaje Trnava Murska imaju izdužena porječja kao i potoci na sjevernim padinama, no to su porječja ipak šira i dulja i sastoje se od više vodotoka koji otječu

u smjeru sjever-jug. Također ovdje se može uočiti kako pojedini vodotoci protječu uz zapadni rub dolina te dobivaju kraće pritoke s zapadne strane.

Prema visinskom rasponu pojedinih porječja može se uočiti da najveći raspon imaju porječja čija se razvodnica pruža uz središnji greben Međimurskih gorica jer tamo su i najveće apsolutne visine. Najveći raspon koji se pruža od najviše točke Međimurskih gorica (345 m) do ruba terasnog strmca uz Dravsku nizinu (165 m) ima porječje potoka Pleškovca i iznosi 180 m. Najmanji visinski raspon ima porječje potoka Zelena čija je razvodnica najudaljenija od središnjeg grebena i iznosi 64 m.



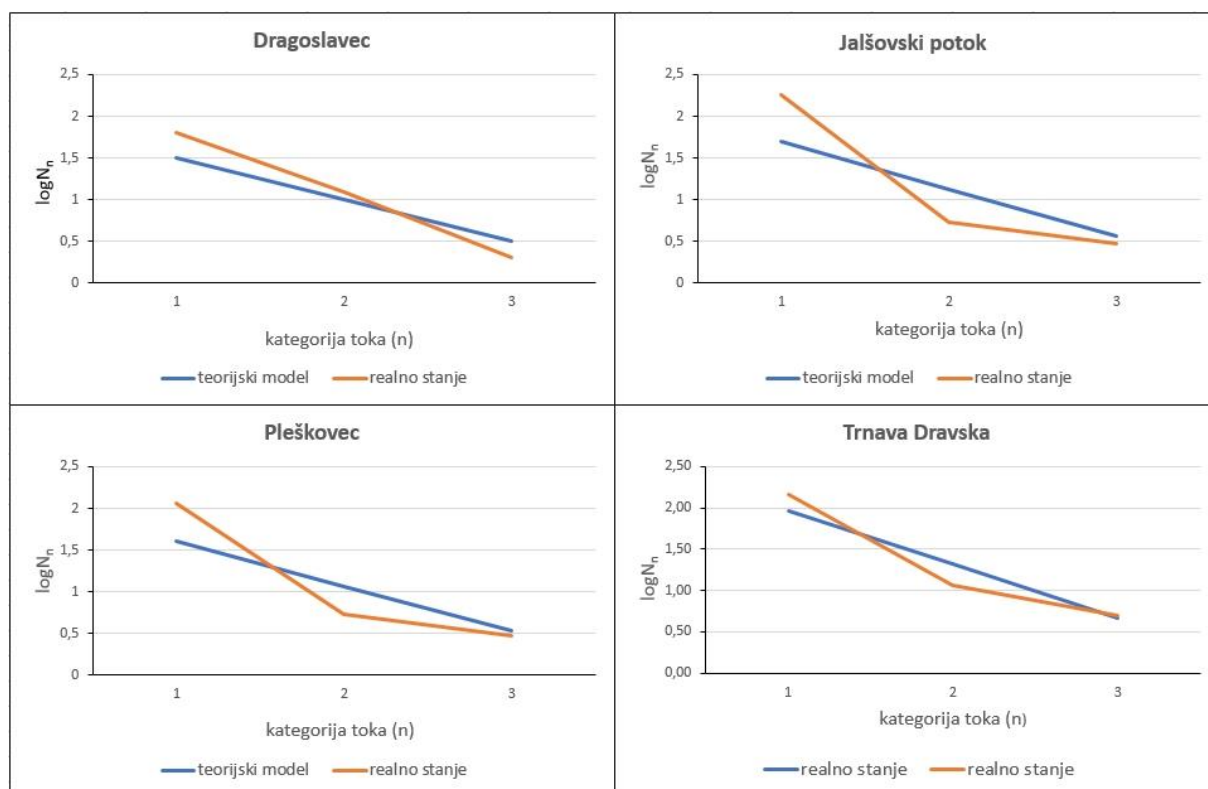
Sl. 10. Drenažni bazeni Međimurskih gorica

Za daljnu analizu odabrani su drenažni bazeni Dragoslavca, Jalšovskog potoka, Pleškoveca i Trnave Dravske (tab. 2.). Svi bazeni imaju 4 kategorije tokova i površinom su najveći drenažni bazeni. Teorijski indeks bifurkacije iznosio bi dva tj. svaka kategorija bi imala dvostruko više tokova od prethodne kategorije, gledajući uzvodno. Utjecaj litologije, strukture i intervencija u prostoru dovodi do odstupanja (Kvetek i Bočić, 2015) od idealnog stanja.

Indeks bifurkacije za odabrane drenažne bazene primijenjen je u izračunu prvog Hortnovog zakona. Negativno odstupanja od teorijskog modela može ukazivati na povećanu akumulaciju što se može povezati s relativnim tektonskim spuštanjem ili mirovanjem određenog bloka (Kvetek i Bočić, 2015). Pozitivna odstupanja mogu ukazivati na relativno tektonsko izdizanje s obzirom na okolni prostor prilikom čega dolazi do jačanja erozije te intenzivnijeg grananja tokova i skraćivanja njihove dužine (Kvetek i Bočić 2015). Iz grafa je vidljivo da sva četiri vodotoka imaju pozitivno odstupanje u prvoj kategoriji tokova. U drugoj kategoriji značajnije negativno odstupanje imaju Jalšovski potok, Pleškovec i Trnava Dravska, kod je pozitivno odstupanje kod Dragoslavca neznatno. U trećoj kategoriji odstupanje od teorijskog indeksa bifurkacije kod svih drenažnih bazena su minimalna. Takva odstupanja se mogu povezati s tektonikom i morfometrijom istraživanog prostora. Slovenske i Međimurske gorice kao tektonska jedinica izdignute se u odnosu na Mursku i Dravsku depresiju odnosno krajem pliocen i tijekom pleistocena (Marković i Mioč, 1998) tj. u recentno vrijeme, te se s time mogu povezati pozitivna odstupanja u prvoj kategoriji. Na Ormoško-selničkoj antiformi vidljivo je stupasto spuštanje blokova i s time se može povezati negativna odstupanja u drugoj kategoriji. Minimalna odstupanja u trećoj kategorije mogu se objasniti time što te kategorije nalaze u većim potočnim dolina koje su zaravnjene i gdje prevladava akumulacija te na prijelazu prema nizine Mure i Drave gdje je tektonski mirnije područje (sl. 11.).

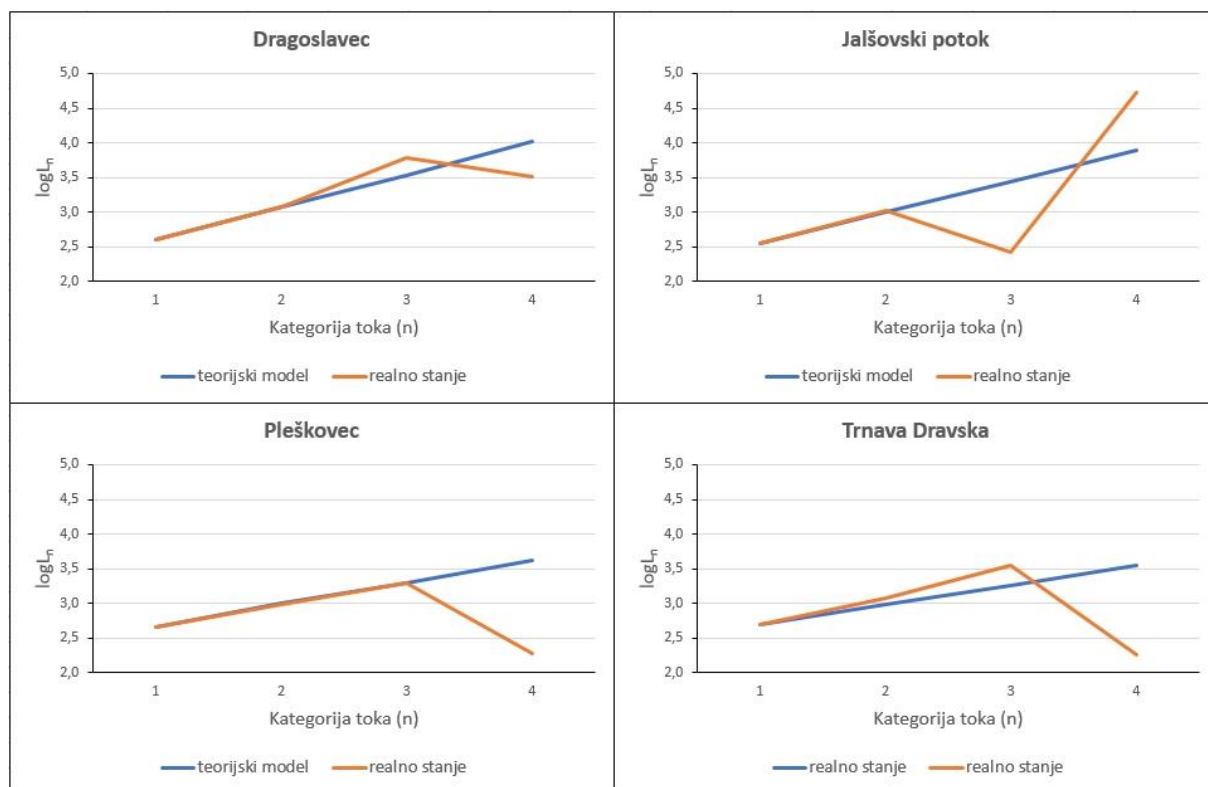
INDEKS	I_b			I_L		
KATEGORIJA	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{4}{3}$
Dragoslavac	4	3.5	2	2.91	3.84	2
Jalšovski potok	5.71	2.33	3	3.01	0.87	5.35
Pleškovec	4.86	2.33	3	2.11	3.42	0.75
Trnava Dravska	5.29	3.4	5	2.91	3.84	2

Tab. 2. Indeksi bifurkacije (I_b) i indeksi duljine tokova (I_L) prema Strahlerovim kategorijama



Sl. 11. Odstupanje stvarnih broja tokova od teorijskog modela

Indeks duljina povezan je sa indeksom bifurkacije tako da ako se broj tokova određenom prostoru povećava njihova dužina se treba smanjivati i obratno. Negativno odstupanje od teorijskog modela može označavati prostor pojačane erozije te samim time recentnih kretanja u prostoru, pozitivna odstupanja označavaju mjesta relativnog tonjenja i akumulacije (Marković, 1983). Rezultati pokazuju da kod prve i druge kategorije nema odstupanja od teorijske duljine tokova. U trećoj kategoriji jedino drenažni bazen Jalšovskog potoka ima značajno negativno odstupanje. U četvrtoj kategoriji Dragoslavec, Pleškovec i Trnava Dravska imaju negativno odstupanje, a Jalšovski potok pozitivno (sl. 12.).



Sl. 12. Odstupanje stvarnih duljina tokova od teorijskog modela

6. ZAKLJUČAK

Drenažna mreža Međimurskih gorica može se podijeliti u dvije osnovne skupine: drenažni bazeni koji odvodnjavaju sjevernu stranu istraživanog područja i drenažni bazeni koji odvodnjavaju južnu stranu.

Sjevernu stranu obilježavaju površinom manji drenažni bazeni i kraći vodotoci, čije veličine rastu od zapada prema istoku. Sjeverne padine obilježavaju veći nagibi te veća raščlanjenost reljefa, te su doline koji se izrezali vodotoci dublje i kraće nego ono na južnoj strani. U laktastim skretanjima pojedinih vodotoka vidljiv je i utjecaj tektonskih kretanja na oblik drenažnih bazena.

Južne padine obilježavaju manji nagibi i manja raščlanjenost reljefa. Povezano s time drenažni bazeni površinom su veći, vodotoci dulji, doline su dublje u svojim izvorišnim dijelovima kod kasnije postaju sve pliće. Iako je to površinom veće područje, zbog blažeg reljefa broj porječja je manji nego na sjevernoj strani, te drenažni bazeni prosječno imaju više kategorija tokova prema Strahlerovoj klasifikaciji nego bazeni na sjevernim padinama.

Indeksi bifurkacije pokazuje da je u prvoj kategoriji tokova, odnosno u središnjem prostoru Međimurskih Gorica povećana erozija tj. prisutno je izdizanje terena u recentno vrijeme.

LITERATURA

Belec, B., 1959: H geomorfologiji Slovenskih in Medjimurskih gor, *Geografski zbornik* 5, Ljubljana, 161-203.

Kvetek, F. Bočić, N., 2015: Digitalna analiza drenažne mreže na primjeru Papuka, *Geografski horizont* 61 (2), 62-73.

Bognar, A., 1980: Tipovi reljefa kontinentalnog dijela Hrvatske, *Spomen zbornik o 30. obljetnici GDH*, GHD, Zagreb, 39-59.

Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 34 (1), 7-26.

Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2014: ArcGIS Help 10.2, 10.2.1 and 10.2.2, <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/> (10.11.2017.)

Hrvatski planinarski savez, 2015-: Mohokos nije najviši vrh Međimurja, *Hrvatski planinar* 107 (3), 108-111.

Marković, S., 1983: *Osnovi primenjene geomorfologije*, posebna izdanja, knjiga 8, Geoinstitut, Beograd

Marković, S. i Mioč, S., 1998: Osnovna geološka karta i tumač, 1:100 000, list Čakovec L 33-57, Institut za geologiju, geotehniku i geofiziku, Slovenija i Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

Mlinarić, M, 2011: *Digitalna geomorfološka karta Međimurja*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu.

Prostorni plan Međimurske županije, Zavod za prostorno uređenje Međimurske županije, 2001.

Orešić, D. 1995: Morfografski pokazatelji porječja Krapine, *Acta Geographica Croatica* 30 (1), 29-38.

IZVORI

URL 1: *World Topographic Map*, Environmental Systems Research Institute (ESRI),
<http://www.arcgis.com/> (10.11.2017)

URL 2: *Earth Explorer*, <http://earthexplorer.usgs.gov/> (10.11.2017.)

URL 3: *Topografske karte 1:25000*, Geoportal DGU, <http://geoportal.dgu.hr/> (10.11.2017.)