



## PRIMENA DIGITALNIH MODELA TERENA U POSTUPKU AUTOMATSKE KLASIFIKACIJE ZEMLJIŠNIH OBLIKA U GIS OKRUŽENJU

### APPLICATION OF GIS BASED DIGITAL TERRAIN MODELS IN THE PROCEDURE OF AUTOMATIC CLASSIFICATION OF LANDFORMS

STANISLAVA BOSIOČIĆ<sup>1</sup>, NEBOJŠA BOSIOČIĆ<sup>2</sup>, DUŠAN PETKOVIĆ<sup>3</sup>, MIODRAG KOSTIĆ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Visoka građevinsko-geodetska škola strukovnih studija, Beograd, [stanislava98@gmail.com](mailto:stanislava98@gmail.com)

<sup>2</sup> [nebojsa057@gmail.com](mailto:nebojsa057@gmail.com)

<sup>3</sup> Građevinski fakultet, Beograd, [dpetkovic@grf.bg.ac.rs](mailto:dpetkovic@grf.bg.ac.rs)

<sup>4</sup> Vojska Srbije, Beograd, [kmiodrag@ikomline.net](mailto:kmiodrag@ikomline.net)

**Rezime:** Sa razvojem računara i softvera za obradu rasterskih slika zemljine površi, danas sve više dobijaju na značaju postupci automatske klasifikacije zemljišnih oblika. U radu su upoređeni rezultati automatske i TPI klasifikacije zemljišnih oblika u GIS okruženju. Danas se automatska klasifikacija često koristi u analizi reljefnih formi područja od interesa. Metoda se bazira na digitalnom modelu terena (DMT) i geomorfološkim parametrima koji se mogu izvesti iz matematičkog modela površi. U ovom radu opisana je metoda automatske klasifikacije zemljišnih oblika (unsupervised landform classification) i puluautomatske klasifikacije zemljišnih oblika (supervised landform classification). Za primenu metode osim DMT u radu su korišćeni parametri: nagib zemljišta, planarna i profilna zakrivljenost i topografski pozicioni indeks (TPI) sa modelima susedstva. Rezultati su pokazali da se na području od interesa nalaze različite morfografske kategorije reljefa. Rezultati klasifikacije rađeni za test područje dela opštine Novi Pazar potvrđuju da se automatske metode mogu koristiti u postupku klasifikacije reljefa.

**Ključne reči:** Geografski informacioni sistemi (GIS), DMT, geomorfometrijski parametri, klasifikacija reljefa.

**Abstract:** With the development of computers and software for processing raster images of the earth's surface, the procedures of automatic classification of landforms are becoming more and more important today. The paper compares the results of GIS based automatic and TPI classification of landforms. Today, automatic classification is often used in the analysis of relief forms of areas of interest. The method is based on a digital terrain model (DMT) and geomorphological parameters that can be derived from a mathematical surface model. This paper describes the method of automatic landform classification and supervised landform classification. For the application of the method, apart from DMT, the following parameters were used: slope, planar and profile curvature and topographic position index (TPI) with neighborhood models. The results showed that there are different morphographic categories of relief in the area of interest. The classification results made for the test area of the part of the municipality of Novi Pazar confirm that automatic methods can be used in the relief classification procedure.

**Keywords:** Geographical Information Systems (GIS), DMT, geomorphometric parameters, relief classification.

## 1. UVOD

U radu su obrađeni automatizovani modeli za klasifikaciju zemljišnih oblika. Zemljišni oblici su strukturne kategorije koje se mogu uočiti u trodimenzionalnoj geometriji Zemljine površine. To su pre svega poznati oblici reljefa: doline, kanjoni, brda, grebeni, brežuljci, visoravni itd. Uprkos poznavanju zemljišnih oblika, njihovo mapiranje geomorfolozima predstavlja vrlo kompleksan i složen zadatak.

Primenom automatizovanog mapiranja zemljišta se: uklanjaju subjektivnosti iz procesa klasifikacije, identifikuju ispravne granične tačke zemljišnih oblika, određuju geomorfološke raznolikosti Zemljine površine, automatizuju složeni procesi praktične upotrebe u planiranju uređenja zemljišta i zaštite životne sredine, nadoknađuje nedostatak objektivnog standarda na osnovu kojeg bi se validirale mape oblika ili način klasifikacije geomorfoloških oblika.

U praksi klasifikovanje zemljišnih oblika se pored uobičajenih primena geomorfometrijskih varijabli (prostorne analize za potrebe geologije, arheologije, antropologije, geomorfologije, biologije, ekologije i drugih istraživanja) primenjuje i u oblasti: planiranja korišćenja zemljišta, kartiranja zemljišta osetljivih na klizišta, precizne poljoprivrede, modeliranja stanja zemljišta, upravljanja šumama, mapiranja ekoloških jedinica i staništa.

Oblici zemljišta čine sastavni deo reljefa, oni odražavaju uticaj geoloških i klimatskih faktora na regionalnom i širem nivou. Kombinacija oblika zemljišta i klimatskih činilaca, utiče na razvoj sastava tla koji zatim utiču na rasprostranjenost i obim biljnog i životinjskog sveta. Značaj poznavanja zemljišnih oblika je u razumevanju potencijala i ograničenja zemljine površi u svrhu zadovoljenja različitih potreba korišćenja i upravljanja zemljištem. Danas sa sve intenzivnijom pojavom klimatskih promena i njenim izraženim delovanjem na zemljišne oblike (poplave, klizišta, odroni, uragani, suše, šumski požari i dr.) oblast izučavanja zemljišnih oblika dobija na značaju. U geomorfometriji kao nauci, razvijen je novi pravac, nastao razvojem računara, računarske grafike i nastankom softvera za digitalnu analizu slike i 3D prostornu analizu. To je upravo automatska i poluautomatska klasifikacija zemljišnih oblika. Njen cilj je da smanji troškove izlaska na teren u cilju geomorfološkog prikupljanja podataka o prostoru i da na neki način automatizuje i uniformiše procedure dobijanja informacija o postojećim zemljišnim oblicima.

U radu je obrađena automatska klasifikacija manjeg dela zemljine površi (3km x 5km), na zemljištu sa topografijom srednjeg intenziteta izmene zemljišnih oblika. U pitanju je zaravnjena visoravan Raške oblasti, konkretno, deo naselja grada Novog Pazara. Novi Pazar je lociran u zvezdastoj dolini reka Jošanice, Raške, Deževske i Ljudske, na nadmorskoj visini od 496m. Okružen je visokim planinama Golijom i Rogoznom i Peštarskom visoravni. Kraj je bogat prirodnim resursima. To je prostrana planinska teritorija, na kojoj se optimalno smenjuju blagi i oštri usponi, rečni useci i doline, visoravni, veliki kompleksi četinarskih šuma, prostrane livade i pašnjaci, a prostor ima izuzetno bogatu floru i faunu, obilje čiste vode, termalnih i mineralnih izvora.



**Slika 1:** Panoramska slika geomorfoloških oblika (brdo Vojniće zapadno od samog mesta Novog Pazara)

## 2. AUTOMATSKA KLASIFIKACIJA ZEMLJIŠNIH OBLIKA

Automatska klasifikacija zemljišnih oblika počinje sa kreiranjem digitalnog modela terena (DMT). U zavisnosti od tačnosti ulaznih podataka i odabrane metode interpolacije, dobija se DMT određene veličine piksela. Pritom DMT predstavlja matematičku funkciju koja aproksimira reljef, a geomorfometrijski parametri se primenom određenih matematičkih formula izračunavaju na osnovu DMT (Bosiočić *et al.* 2018). Za izdvajanje zemljišnih oblika primenjene su metode: nadgledane klasifikacije koja koristi obučavajuće skupove, nenadgledane klasifikacije i klasifikacije uz korišćenje topografskog pozicionog indeksa (TPI klasifikacija).

### 2.1. Nadgledana klasifikacija (supervised classification)

U nadgledanoj klasifikaciji biraju se reprezentativni uzorci (training samples) za svaku klasu zemljišta. Zatim se ovi „obučavajući skupovi“ primenjuju na celokupnu ulaznu sliku (raster) da bi se izdvojili pikseli pojedinih klasa sličnih karakteristika. U radu je korišćena interaktivna nadgledana klasifikacija.

### 2.2. Nenadgledana klasifikacija (unsupervised classification)

Ova klasifikacija se naziva i klasterovanje. Dva najčešće korištena algoritma za nenadgledanu klasifikaciju su K-srednja vrednost i algoritam klasterovanja ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analysis

Technique). Oba ova algoritma su iterativni postupci. Oba prvo dodeljuju proizvoljni početni klaster vektor. Drugi korak klasifikuje svaki piksel u najbliži klaster. U trećem koraku izračunavaju se novi srednji vektori klastera na osnovu svih piksela u jednom klasteru. Drugi i treći korak se ponavljaju sve dok „promena“ između iteracije nije mala. "Promena" se može definisati na nekoliko različitih načina, bilo merenjem udaljenosti srednjeg vektora klastera, koji se menjao iz jedne iteracije u drugu, ili s procentom piksela koji su se promenili između iteracija.

Algoritam ISODATA se može dodatno usavršiti postupkom razdvajanja i spajanja klastera. Klasteri se spajaju ako je ili broj članova (piksela) u klasteru manji od određenog praga ili ako su centri dva klastera bliži određenom pragu. Klaster se deli na dva nova klastera ako standardno odstupanje klastera, prelazi unapred definisanu vrednost i broj članova (piksela) je dvostruko veći od minimalnog broja članova. Razlika između rezultata dobijenih iz ova dva algoritma je taj da su u ISODATA klasifikaciji pikseli dodeljeni samo jednoj grupi, dok u fuzzy k-mean klasifikaciji svaki podatak može imati delimično članstvo u nekoliko grupa (Wieczorek, 2014). U radu je korišćena ISODATA klaster analiza.

### 2.3. TPI klasifikacija

Korišćenje topografskog pozicionog indeksa (TPI) za izdvajanje morfoloških kategorija reljefa razvijeno je kao metod od strane Endrju Vejsa (Weiss, 2001), a kasnije je metod dopunjen u vidu računarske ekstenzije za ArcGIS od strane Džefa Dženesa (Jenness, 2013). Poluautomatska metoda klasifikacije zemljišnih oblika, koja koristi TPI parametre zajedno sa parametrom nagiba, pruža jednostavno sredstvo za klasifikaciju prostora u različite morfološke klase.

Ovom metodom u svrhu geomorfometrijske analize i izdvajanja morfoloških kategorija reljefa na poučavanom području, obrađena su dva parametra: nagib reljefa (slope) i topografski pozicioni indeks (topographic position index - TPI), na osnovu kojih je sproveden postupak klasifikacije zemljišnih oblika. Za dobijanje relevantnih rezultata analize od ključnog je značaja izbor veličine i oblik susedstva, koji treba da su u razmeri sa veličinom reljefnog oblika koji se analizira. Najčešće korišćeni oblik susedstva je kružni oblik. Za klasifikaciju malih oblika, kao što su mali vodotoci ili mala uzvišenja, koristi se malo kružno susedstvo, a za klasifikaciju većih kanjona, dolina i planinskih visoravni koristi se veliko kružno susedstvo. Izbor veličine „ispravnog“ susedstva je proces u kome se isprobava nekoliko opcija dok se ne odabere najkorisnija veličina (Golijanin, 2015).

Rezultati ove metode klasifikacije, opis reljefnih klasa (tabela 1), zasnovani su na ekspertskom mišljenju, pa će u ovom radu biti usvojeni kao metoda za poređenje rezultata automatske klasifikacije (ekspertska klasifikacija). Za opis reljefnih klasa za klasifikaciju u 10 klasa videti Weiss 2001, Bosiočić 2018.

**Tabela 1:** Opis reljefnih klasa za klasifikaciju u 4 i 6 klasa (Weiss, 2001)

Klasifikacija pomoću parametara TPI i nagiba u 4 klase	Klasifikacija pomoću parametara TPI i nagiba u 6 klasa
Neighborhood = Circle [Radius = 50m]	Neighborhood = Circle [Radius = 50m]
Class 1: $TPI \leq -1$ Class 2: $-1 < TPI \leq 1$ , Slope $\leq 6^\circ$ Class 3: $-1 < TPI \leq 1$ , Slope $> 6^\circ$ Class 4: $TPI > 1$	Class 1: $TPI \leq -1$ Class 2: $-1 < TPI \leq -0.5$ Class 3: $-0.5 < TPI \leq 0.5$ , Slope $\leq 6^\circ$ Class 4: $-0.5 < TPI \leq 0.5$ , Slope $> 6^\circ$ Class 5: $0.5 < TPI \leq 1$ Class 6: $TPI > 1$

### 3. EKSPERIMENT

Najčešći korišćeni format GIS podataka za potrebe geomorfometrije je raster. Rezolucija DMT zavisi od veličine područja i veličine oblika zemljišta koji će se otkriti. Takođe, to zavisi i od samog izvora podataka. Dikau (1989) je tvrdio da se tačna morfometrijska klasifikacija može izvesti koristeći četiri osnovna morfometrijska parametra dobijena iz DMT (nagib, aspekt, planarna i profilna zakrivljenost). Ovaj se osnovni skup može proširiti, tako da izbor parametara zavisi od specifičnosti potrebne prostorne analize (geomorfološka, hidrološka, pedološka i drugo). Morfometrijski parametar ugao nagiba (aspekt) sa njegovom usmerenom prirodom je teško kombinovati sa drugim varijablama u višedimenzionalnom modeliranju. Stoga se aspekt može posredno razmatrati preko parametra solarne radijacije (Wieczorek, 2014).

Prvi korak u geomorfometrijskoj analizi je kreiranje digitalnog modela terena (DMT). Za test područje, odabran je deo naselja Novi Pazar sa okolinom. Za ulazne podatke bio je na raspolaganju grid veličine 25m x 25m. Korišćenjem interpolacione metode kriging kreiran je DMT sa veličinom piksela 14,1m x 14,1m. Iz

DMT kao izvedene veličine u programu ArcGIS sračunati su osnovni morfometrijski parametri: nagib zemljišta, planarna i profilna zakrivljenost i topografski pozicioni indeks (Bosiočić, 2018). Eksperiment je podeljen na A, B i C eksperimente. Opisi eksperimenata u zavisnosti od broja klasa, kao i rezultata klasifikacije dati su u tabeli 2. Geomorfološki opisi klasa uzeti su iz TPI metode klasifikacije, videti Weiss, 2001.

**Tabela 2:** Opisi eksperimenata A,B i C u zavisnosti od broja klasa kao rezultata klasifikacije

Klase	Eksperiment A (4 klase)	Eksperiment B (6 klasa)	Eksperiment C (10 klasa)
Klasa 1	kanjoni i kanjonske doline	kanjoni i kanjonske doline	kanjoni i kanjonske doline
Klasa 2	nagnut teren	blago nagnut teren	gornji tokovi, brazde i potoci
Klasa 3	znatno nagnut teren	nagnut teren	konveksne doline
Klasa 4	vrhovi i grebeni	znatno nagnut teren	konkavne doline
Klasa 5		veoma strme padine	zaravnii
Klasa 6		vrhovi i grebeni	otvorene padine (nagib>6°]
Klasa 7			padine na uzvišenjima
Klasa 8			lokalni grebeni, manja uzvišenja u dolinama
Klasa 9			sekundarni grebeni i uzvišenja u zaravnima
Klasa 10			planinski vrhovi i grebeni

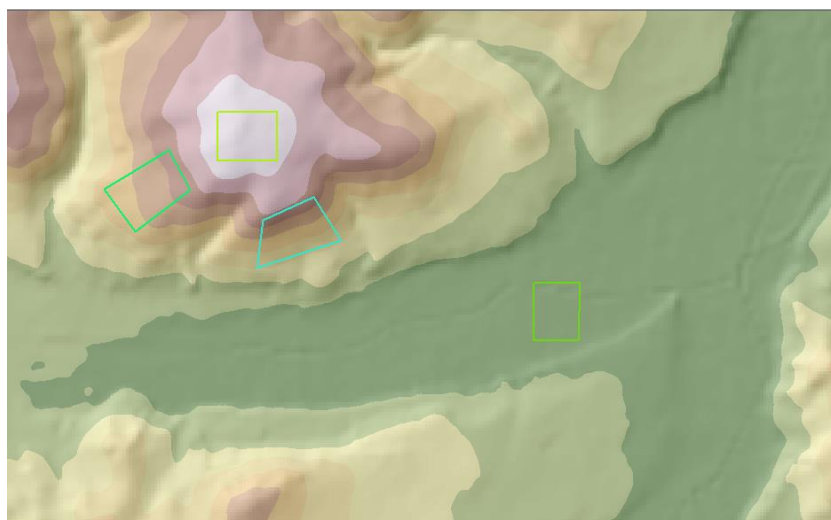
### 3.1. Klasifikacija na osnovu TPI parametra

Za klasifikaciju zemljišnih formi i izdvajanje morfoloških oblika reljefa, u ovoj metodi korišćena je kombinacija TPI parametara i nagiba. Prilikom primene metode, nije se posebno radila klasifikacija za malo susedstvo i veliko susedstvo. Prilikom odabira kriterijuma malog susedstva (vrednost 50m) uzeta je u obzir veličina test područja, veličina piksela i pretpostavka o postojanju manjih zemljišnih oblika na odabranom test području. Metodom klasifikacije, zemljište je podeljeno u 4 klase, 6 klasa, a zatim i u 10 klasa. Opis reljefnih klasa prikazan je u tabeli 1.

### 3.2. Interaktivna nadgledana klasifikacija

Za klasifikaciju zemljišnih formi i izdvajanje morfoloških oblika reljefa, u ovoj metodi korišćena je kombinacija morfometrijskih parametara: nagiba, planarne i profilne zakrivljenosti.

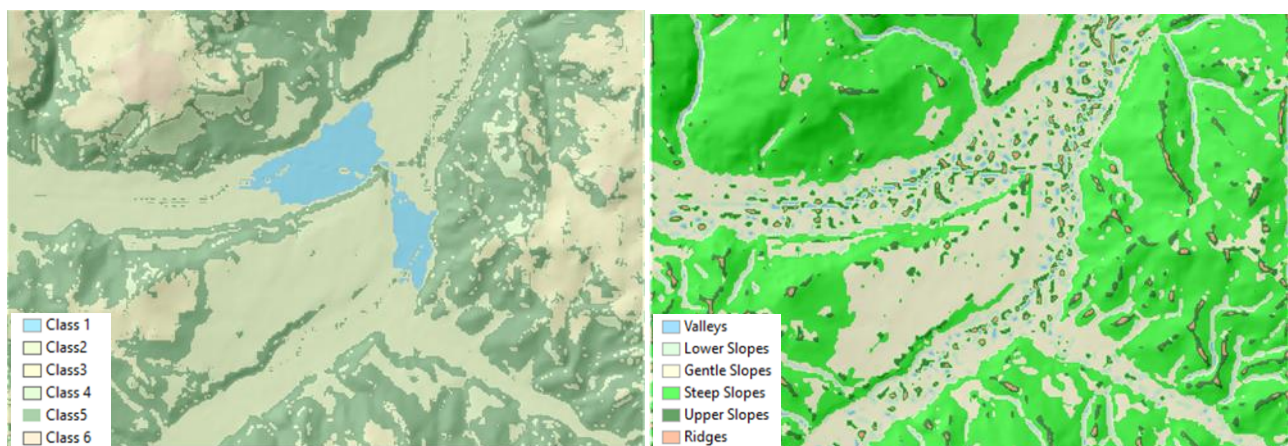
Na test području odabrani su obučavajući skupove (training samples) za A eksperiment 4 poligona i za B eksperiment 6 poligona. Odabrani obučavajući skupovi su oblika poligona i pravougaonika, veličine 250 do 1000 piksela (slika 2). Metodom klasifikacije, zemljište je podeljeno u 4 klase (A eksperiment) i 6 klasa (B eksperiment). Rezultat klasifikacije u 4 klase i 6 klasa i poređenje sa TPI klasifikacijom prikazan je na slici 3 i slici 4.



**Slika 2:** Prikaz odabrana 4 obučavajuća skupa za test područje Novi Pazar



Slika 3: Poređenje rezultata nadgledane i TPI klasifikacije u 4 klase

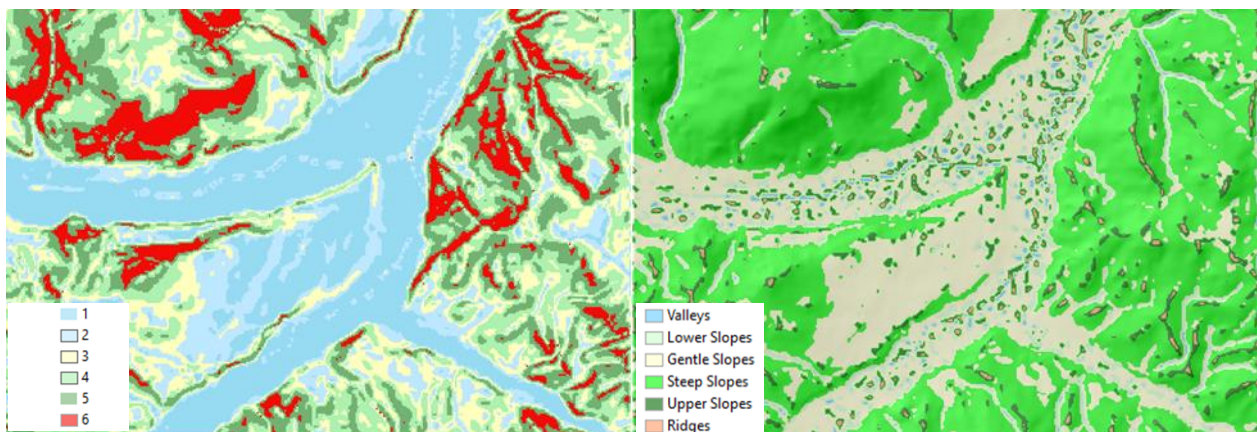


Slika 4: Poređenje rezultata nadgledane i TPI klasifikacije u 6 klasa

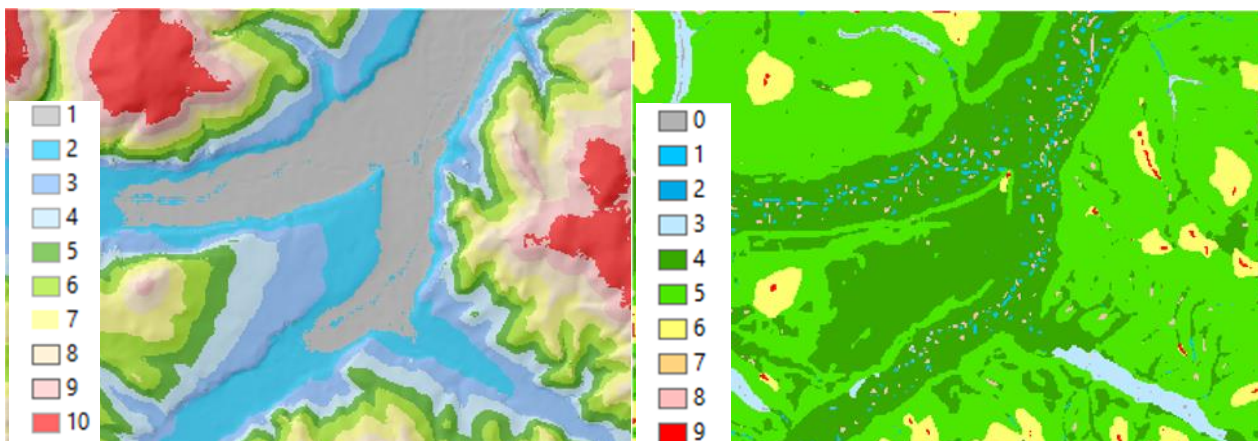
### 3.3. ISO data klasifikacija

Za klasifikaciju zemljišnih formi i izdvajanje morfoloških oblika reljefa, u ovoj metodi korišćena je kombinacija morfometrijskih parametara: nagiba, planarne i profilne zakrivljenosti.

Metodom klasifikacije, zemljište je podeljeno u 6 klasa (B eksperiment), a zatim i u 10 klasa (C eksperiment). Rezultat klasifikacije u 6 klasa i poređenje sa TPI klasifikacijom prikazan je na slici 5.



Slika 5: Poređenje rezultata ISO klaster i TPI klasifikacije u 6 klasa



Slika 6: Poređenje rezultata ISO klaster i TPI klasifikacije u 10 klasa

#### 4. ANALIZA REZULTATA

Analizirajući rezultate klasifikacije u 4 klase i 6 klasa, nameće se zaključak da automatske metode klasifikacije mogu da izdvoje veće zemljišne oblike. Sa povećavanjem broja zemljišnih klasa, automatske metode pokazuju nedostatke u izdvajanju manjih zemljišnih oblika, kao što su na primer kanjoni manjih reka ili izdvojeni vrhovi.

Klasifikacija zemljišnih formi i izdvajanje geomorfometrijskih oblika reljefa u 10 klasa, putem TPI metode, gde se koristila kombinacija TPI parametra malog susedstva, velikog susedstva i nagiba (slika 6) uspešno je otkrila manje planinske vrhove i grebene (klasa 9, prikazana crvenom bojom), kao i zemljišnu formu manjeg kanjona, gde protiče potok (klasa 1, prikazana svetlo plavom bojom, isprekidana linija). Po ovoj metodi tačke sa pozitivnom vrednošću TPI u malom susedstvu i negativnom vrednošću TPI u velikom susedstvu verovatno predstavljaju manje brdo ili greben u većoj dolini. Nasuprot tome tačke sa negativnom vrednošću TPI u malom susedstvu i pozitivnom vrednošću TPI u velikom susedstvu verovatno predstavljaju malu dolinu (zaravan) na većem vrhu uzvišenja (Golijanin, 2015).

Kod klasifikacije u 10 klasa ISO klaster metodom, pokazao se dominantnim morfometrijski parametar nagiba u odnosu na zakrivljenost, zbog velikih vrednosti nagiba u odnosu na vrednosti zakrivljenosti. Na odabranom test području zakrivljenost je u rasponu od -5 do 5, u zavisnosti da li je više ili manje nagnut teren, dok ugao nagiba ima vrednosti od 0 do 55 (izražen u stepenima). Ova klasifikacije nije dala zadovoljavajuće rezultate.

#### 5. ZAKLJUČAK

Nameće se zaključak da je automatskim metodama klasifikacije moguće izdvojiti osnovne reljefne oblike, što pokazuje analiza poređenja rezultata klasifikacije sa TPI klasifikacijom, ali da su one sa određenim nedostacima i još nedovoljno softverski praćene, da mogu u svim segmentima i potpunosti zameniti ekspertska klasifikaciju. Ovde je TPI metoda korišćena u nedostatku ekspertske klasifikacije.

Predlog je da se pokuša poboljšanje nadgledane klasifikacija tako što će u odabir obučavajućih skupova uključiti eksperti sa terenskim iskustvom. U postupku ISO data klasifikacije potrebno je da se eksperti uključe u fazi spajanja klasa, odabira broja klasa ili da se u analizu uključe još neki geomorfometrijski parametri. Veća rezolucija DMT bi takođe doprinela poboljšanju rezultata automatske klasifikacije.

#### LITERATURA

- [1] Bosiočić, S., Bosiočić N., Kostić M.(2018). Digitalni modeli terena kao podloga za geomorfometrijsku analizu u gis okruženju, Zbornik radova „SYM-OP-IS-2018“
- [2] Golijanin, J. (2015). Geoeколоška evaluacija prirodnih potencijala ravne planine i paljanske kotline u funkciji održivog razvoja. Doktorska disertacija, Geografski fakultet, Univerziteta u Beogradu.
- [3] Jenness, J., Brost, B., & Beier, P. (2013). MANUAL: Land Facet Corridor Designer. [corridordesign.org](http://corridordesign.org).
- [4] Wiczorek, M. & Migoń, P. (2014). Automatic relief classification versus expert and field based landform classification for the medium-altitude mountain range, the Sudetes, SW Poland, *Geomorphology* 206, 133–146
- [5] Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis, in: Poster Presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA. pp. 227–245.