



EVALUACIJA MORFOMETRIJSKIH KARAKTERISTIKA TERENA PRIMENOM GIS TEHNOLOGIJE

Miodrag Kostić¹, Ljubomir Gigović², Goran Prodanović¹

¹Vojnografski institut, Beograd

²Vojna Akademija, Srbija

Abstract:

Savremena tehnologija i digitalni podaci o terenu organizovani u odgovarajućoj bazi podataka, obezbeđuju da se fizičko-geografski i društveno-geografski elementi terena kombinuju i sagledaju u jednom širem kontekstu. Geoprostorna analiza digitalnih podataka za potrebe evaluacije morfometrijskih karakteristika terena obuhvata izbor i organizaciju optimalne količine raspoloživih podataka, kao i primenu niza matematički definisanih algoritama, postupaka i GIS softverskih aplikacija za njihovo modelovanje, ažuriranje, analizu i prezentaciju. Evaluacija morfometrijskih karakteristika terena pruža mogućnost sagledavanja životne sredine sa različitih aspekata a prevashodno je orijentisana na delatnost čoveka i njegov uticaj na životno okruženje.

Key words:

geografski informacioni sistem, geoprostorna analiza terena, digitalno modelovani podaci, morfometrijske karakteristike terena.

UVOD

Podaci¹ o prostoru, dati na klasičan način u obliku karata koje predstavljaju svojevrsan vid prostornih baza podataka na papiru, nisu zanemarljive vrednosti i pružaju efektanu grafičku prezentaciju fizičko-geografskih i društveno-geografskih karakteristika terena. Visinska predstava data je pomoću izohipsi iscrtnih sa propisanom ekvidistancijom uz dodatak odgovarajućeg broja iskartiranih tačaka sa ispisanim visinama (kote i trigonometrijske tačke) i specijalnim topografskim znacima koji predstavljaju karakteristične oblike, strukturne i prelomne linije terena. Ovako konvencionalno organizovane prostorne baze podataka imaju značajna ograničenja, pogotovo kada se radi o primeni savremenih metoda geoprostornih analiza². Pretraga nad podacima je otežana i spora a rezultati analiza preashodno zavise od iskustva i znanja izvršioca.

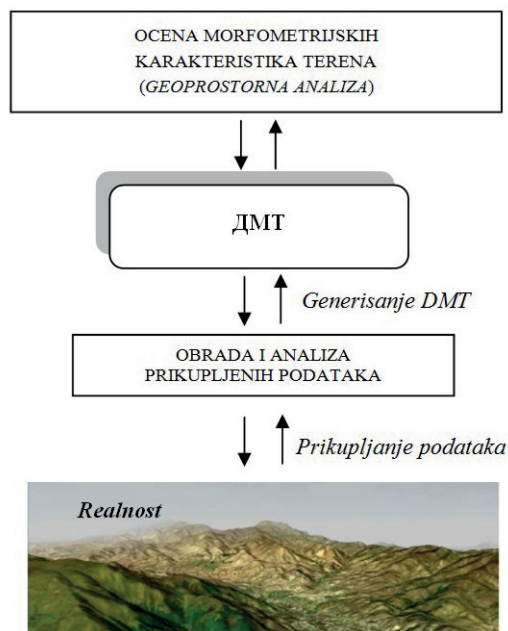
Primena savremene tehnologije za prikupljanje, obradu, analizu i prezentaciju podataka o terenu, vodi nas iz dvodimenzionalnog sveta karata u trodimenzionalni svet digitalno modelovanih podataka koji omogućavaju modelovanje procesa i evaluaciju. Trodimenzionalni prikazi terena u vidu digitalnih modela, koji predstavljaju matematičku prezentaciju površi sa zahtevanom tačnošću su složeni sistemi koji se sastoje od velikog broja objekata, atributa objekata i nije ih lako vizuelizovati i analizirati. Sam proces analize podataka u digitalnom obliku sa odgovarajućom bazom podataka³ obuhvata primenu niza matematički definisanih algoritama i postupaka čijom primenom se dobiju kvalitetni grafički, numerički i vektorski proizvodi koji su u najvećoj mogućoj meri oslobođeni subjektivnog uticaja analitičara na kvalitet ocene morfometrijskih karakteristika terena.

Put koji geopodaci prolaze sa ciljem izrade digitalnog modela terena (DMT) odgovarajuće tačnosti za potrebe evaluacije morfometrijskih karakteristika ne može se posmatrati kao jednosmeran proces, već kao rezultat većeg broja međusobno povezanih faza (sl. 1.).

1 Podaci (data) - su znakovni prikaz činjenica i pojmova koji opisuju svojstva objekata i njihove odnose u prostoru i vremenu [1].

2 Geoprostorna analiza – skup analitičkih metoda koji zahtevaju pristup kako atributima proučavanog objekta, tako i njegovim lokacionim informacijama radi donošenja odgovarajućih zaključaka i informacija [2].

3 Baza podataka - logički skup povezanih podataka kojima se upravlja kao jednom jedinicom.



Sl. 1. Faze u procesu modelovanja DMT

Završna faza kao što je evaluacija morfometrijskih karakteristika na osnovu formiranog digitalnog modela terena (visina), zavisi od kvaliteta, tipa i načina generisanja prikupljenih podataka što ceo proces vraća na početnu fazu modelovanja digitalnog modela terena.

Prikupljanje podataka o terenu danas se obavlja savremenim senzorima visoke rezolucije koji su sposobni da podatke prikupe u digitalnom obliku, dok se njihova obrada, analiza i prezentacija obavlja pomoću GIS softverskih aplikacija.

PRIKUPLJANJE VISINSKIH PODATAKA TERENA

Krupne korake koje čovečanstvo danas pravi na polju nauke i tehnike uslovlilo je ogromnu potrebu za ažurnim i preciznim podacima o terenu koji bi bili dostupni širem krugu korisnika u relativno kratkom vremenskom periodu. Od kvaliteta i količine prikupljenih podataka zavisi uspešnost modelovanja i generisanja DMT i time i geoprostorne analize u cilju evaluacije morfometrijskih karakteristika terena. Načelno, prikupljanje podataka obuhvata 80% utrošenog vremena i troškova [3] što je uslovlilo izradu brojnih modela i postupaka radi povećanja efikasnosti i racionalizacije ovog dela procesa. Značajni pomoci su napravljeni primenom računara na polju digitalne fotogrametrije, kao i u razvoju sasvim novih metoda i tehnika za snimanje terena, kao što je 3D lasersko skeniranje iz vazduha. Izbor metoda za prikupljanje podataka zavise od namene DMT (zahteva korisnika), zahtevane tačnosti rezultata geoprostornih analiza i raspoloživog vremena. U zavisnosti od senzora i načina prikupljanja podataka, metode se načelno dele na:

- ♦ primarne metode i
- ♦ sekundarne metode.

U zavisnosti od izbora metode prikupljaju se visinski podaci koji predstavljaju fizičko-geografske karakteristike terena u obliku tačaka, linija i površi.

PRIMARNE METODE ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA

Primarnim metodama za prikupljanje visinskih podataka se na osnovu direktnih merenja fizičkih veličina na zemljištu, stereo modelu ili daljinskom detekcijom obezbeđuju neophodni visinski podaci. U ovu grupu ubrajamo terenska merenja, fotogrametrijska merenja, 3D lasersko skeniranje terena i ostale metode za direktno prikupljanje podataka.

Terenska merenja se najčešće koriste pri određivanju orijentacionih i kontrolnih tačaka, ocenu DMT, prikupljanje graničnih i strukturnih linija terena, kao dopuna nekoj od drugih metoda i u slučajevima gde se do visinskih podataka može doći samo merenjem na terenu. Za realizaciju ovih merenja najčešće se koristi globalni pozicioni sistem (GPS).

Fotogrametrijska merenja se izvode određivanjem visinskih podataka na stereo modelu terena. Stereo modeli se dobijaju na osnovu avio-snimanja i snimanja koja se vrše iz kosmosa pomoću satelita. Savremena fotogrametrijska merenja visinskih podataka sa stereo modela se izvode na digitalnih fotogrametrijskih radnih stanica. Merenje visinskih podataka na stereo modelu može se vršiti primenom sledećih metoda:

- ♦ Sistemskim samplingom se područje modela terena sistemski prekriva serijom paralelnih profila, ili mrežom tačaka sa merenim visinama.
- ♦ Progresivni sampling predstavlja nadogradnju sistemskog samplinga i sastoji se u progresivnom poguščavanju osnovne mreže visinskih tačaka u onim oblastima za koje se analizom već prikupljenih visinskih podataka utvrdi da je neophodno.
- ♦ Selektivnim samplingom se mere visine karakterističnih tačaka terena, koje su u opštem slučaju nepravilno raspoređene po modelu terena.
- ♦ Kompozitni sampling predstavlja kombinaciju predhodne tri metode
- ♦ Direktno izvlačenje izohipsi sa stereo modela terena.

3D lasersko skeniranje terena obezbeđuje potpuno automatizovano prikupljanje velike količine podataka o površini terena za kratko vreme uz minimalan uticaj operatera na prikupljanje podataka. Velika gustina i količina merenih tačaka omogućava veran prikaz morfoloških karakteristika terena i formiranje DMT.

SEKUNDARNE METODE ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA

Visinski podaci o prostoru prikupljali su se i pre pojave savremenih digitalnih radnih stanica. Prikupljeni su analognim instrumentima ili primenom klasičnog premera direktno na terenu. Danas se ovi podaci nalaze uglavnom u posedu nacionalnih kartografskih institucija i vojnim kartografskim agencijama i institutima i to u analognom obliku, u formi topografskih karata, planova, zapisnika i kataloga. Kod ovog metoda se do podataka o visinskoj predstavi terena dolazi prevođenjem iz analognog u vektorski oblik. Iako se visinski podaci o terenu u globalu nisu menjali, postoje izvesni problemi pri korišćenju ovih



podataka pri generisanju DMT i analizama koje se kasnije vrše u cilju evaluacije morfometrijskih karakteristika terena. Prevođenjem ove vrste materijala iz analognog u digitalni oblik često se usled upotrebe uslovnih znaka (stenjaci, uvale, vododerine, ...) za prikaz reljefa ne dobijaju dovoljno kvalitetni podaci za numeričku prezentaciju terena.

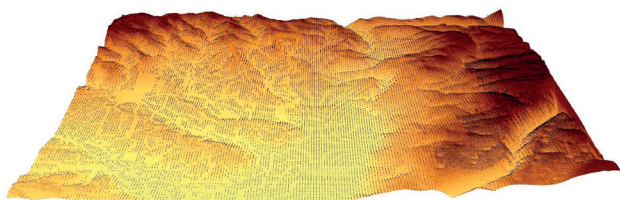
Prema načinu prevođenja podataka iz analognog u vertorski oblik razlikujemo tri metode (kartografske metode):

- ♦ Digitalizacija,
- ♦ vektorizacija skeniranog sadržaja i
- ♦ unos alfa-numeričkih podataka.

DIGITALNI MODEL TERENA

Uporedo sa razvojem tehnologija za prikupljanje visinskih podataka terena došlo je i do razvoja GIS aplikacija za njihovo ažuriranje, obradu, analizu i vizualizaciju. Takođe, došlo je i do razvoja raznih vrsta zapisa prikupljenih vektorizovanih visinskih podataka. Ovi zapisi su u pogledu memorijskih vrednosti bili mali a pri tome su zadržavali kvalitet sadržaja čiji zapis nose. Standardizacija ovih zapisa omogućila je upotrebu GIS softverskih paketa za generisanje modela površi terena u digitalnom obliku sa odgovarajućom strukturom podataka koja je pogodna za dalje korišćenje, analizu i ažuriranje.

Pojam i primena DMT datira još od pedesetih godina prošlog veka kada su postavljene prve osnove budućeg razvoja modelovanja geoprostornih podataka pomoću GIS alata. DMT možemo posmatrati kao digitalnu prezentaciju dela kontinualne površi zemljišta iskazanu uz pomoć velikog broja izabranih tačaka sa poznatim X, Y i Z koordinatama u proizvoljnom koordinatnom sistemu [4]. Formalno gledano, može se reći da je zemljina površ formirana od beskonačnog broja tačaka koje usled različitih visina na kojima se nalaze formiraju različite reljefne oblike, pojave i konture. Zbog nemogućnosti merenja svih tačaka sa zemljine površine, za njeno matematičko predstavljanje, odnosno generisanje DMT, uzima se samo određen broj referentnih tačaka. Generisani DMT omogućava dobijanje vrednosti funkcionala površi u svim tačkama terena, a ne samo u tačkama u kojima su izvršena merenja (sl. 2) primenom interpolacije [5].



Sl.2. Matematička površ formirana interpolacijom od referentnih visinskih tačaka terena

Interpolacija se koristi i u daljoj eksploataciji digitalnog modela terena, za njegovo dalje predstavljanje i analizu. Pod analizom terena podrazumeva se određivanje hipso skale, vrednosti nagiba, pravca nagiba, ekspozicije

terena i drugih karakteristika, što je osnova za evaluaciju pojedinih morfometrijskih karakteristika terena.

Podela DMT se može izvršiti prema sledećim kriterijumima:

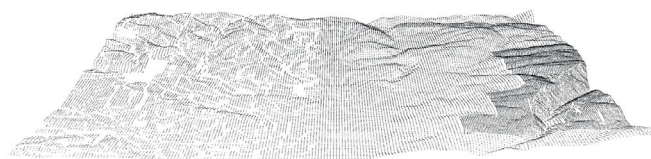
- ♦ izboru ulaznih visinskih podataka za njegovo generisanje;
- ♦ organizaciji podataka;
- ♦ načinu na koji se formira, i dr.

Prema izboru ulaznih visinskih podataka od kojih se generiše, razlikujemo dva tipa DMT [6]:

- ♦ Digitalni model visina - DMV (Digital Elevation Model - DEM ili ređe Digital Height Model - DHM) pod kojim se podrazumeva uređen sistem visina u pravilnoj mreži tačaka, najčešće pravougaoni raster.
- ♦ Digitalni model terena - DMT kod koga je organizacija visinskih podataka daleko složenija i koji ne uključuje samo visine tačaka već i druge karakteristike terena (prekidne i strukturne linije terena, karakteristične tačke, i sl.).

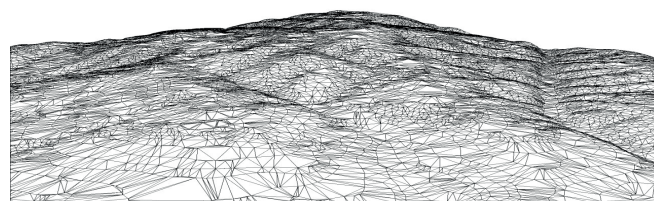
U zavisnosti od organizacije, odnosno strukture podataka postoje tri tipa DMT:

- ♦ raster (grid) - model je prezentacija površi na osnovu prikupljenih ili interpolovanih tačaka u uređenoj pravilnoj mreži (sl.3);



Sl.3. DMT sa grid strukturom podataka

- ♦ TIN (Triangulated Irregular Network) - model (prezentacija površi pomoću nepravilno raspoređenih tačaka od kojih se formira mreža nepravilnih nepreklapajućih trouglova (sl. 4).



Sl.4. DMT sa TIN strukturom podataka

EVALUACIJA MORFOMETRIJSKIH KARAKTERISTIKA TERENA

Evaluacija u najširem smislu označava ocenu nečega, vrednovanje, odnosno, određivanje vrednosti. U prostornom planiranju evaluacija prostora predstavlja proces usmeren ka identifikaciji potencijala odnosno ograničenja određenog prostora (u ovom radu u pogledu morfometrijskih karakteristika terena) za višenamensko korišćenje [7].

Vrednovanje nekog objekata, pojave ili procesa, podrazumeva određivanje njihovog potencijala i kvaliteta u službi društvene zajednice.



Razvoj kriterijuma evaluacije morfometrijskih karakteristika terena zasniva se na opšte teorijskim znanjima, iskustvima, postojećim potrebama i praksom u različitim segmentima ljudskih aktivnosti. Da bi se pristupilo realizaciji parcijalne ili kompletne evaluacije morfometrijskih karakteristika terena, pored izabranih i utvrđenih kriterijuma, potrebno je i izvršiti izbor naučne metode.

Metod modelovanja je postupak koji se zasniva na formiranju modela za evaluaciju. Uspešnost evaluacije morfometrijskih karakteristika terena ne zavisi samo od organizacije podataka u digitalnom modelu terena ("kvaliteta modela") već i od bogastva baze visinskih podataka na osnovu koje se formira model.

Pored modelovanja podataka koji služe za evaluaciju podataka, evaluacija morfometrijskih karakteristika terena zasniva se i na odgovarajućim geostatističkim i kartografskim metodama.

Evaluacija morfometrijskih karakteristika terena ima veliki značaj u procesu vrednovanja potencijala životne sredine. Reljef terena kao element prirodne sredine koji se najsporije i najmanje menja, osnovni je element kvalitativnog obeležija kopnenog prosotra i kao takav pogodan je za dugoročno planiranje života i rada. Od njega zavise ostali elementi: klima, hidrografija, pedološki i vegetacioni pokrivač, raspored naselja, komunikacije, poljoprivreda i industrija.

Morfometriske karakteristike terena nad kojim se sprovodi evaluacija su:

- ♦ ugao nagiba terena,
- ♦ hipsometrijske karakteristike terena (nadmorska visina) i
- ♦ ekspozicija.

Ugao nagiba terena

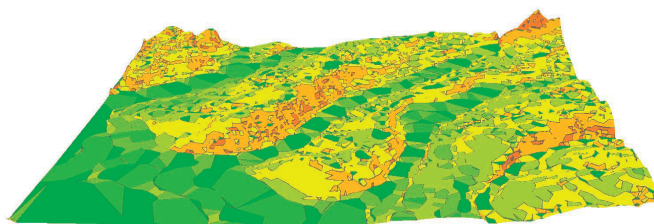
Ugao nagiba terena ima veliki značaj u određivanju predispozicija nekog prostora za odvijanje različitih procesa u životnoj sredini. Radi lakše analize i sagledavanja potencijalnih mogućnosti za razvoj nekog geografskog prostora, izvršena je opšta klasifikacija terena u zavisnosti od nagiba (tabela 1).

Tabela 1. Opšta klasifikacija terena u zavisnosti od veličine ugla nagiba terena [7]

Ugao nagiba	Tip terena u zavisnosti od veličine ugla nagiba
do 1°	ravan teren
1° - 3°	vrlo blago nagnut teren
3° - 5°	blago nagnut teren
5° - 8°	prilično nagnut teren
8° - 12°	iskošen teren
12° - 16°	vrlo iskošen teren
16° - 20°	umereno strm teren
20° - 30°	srednje strm teren
30° - 40°	jako strm teren
preko 40°	

Računanja ugla nagiba primenom GIS aplikacija zasni-va se na prethodno formiranom digitalnom modelu terena sa odgovarajućom bazom podataka. Ukoliko se radi o DMT-a koji je formiran u obliku TIN-a onda se ugao nagiba za neku lokaciju određuje proračunavanjem ugala

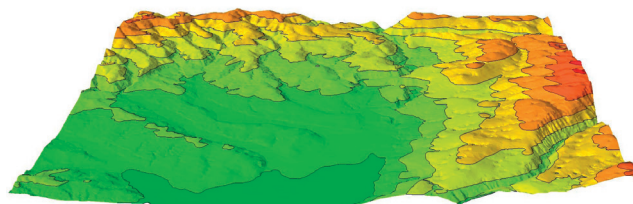
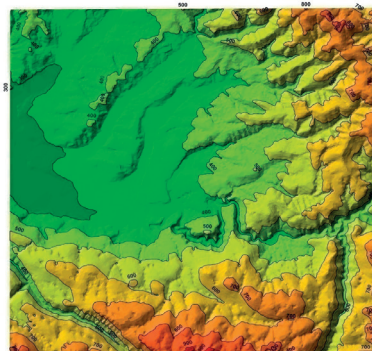
nagiba za svaki trougao u TIN-u. Pri formiranje grida, vrši se proračun za svaku ćeliju rastera. Kod TIN-a ugao nagiba predstavlja maksimalnu veličinu promene nagiba duž svakog trougla, dok kod grida on je maksimalna veličina promene nagiba duž svake ćelije rastera i njenih osam susjednih ćelija. Kada se vrši određivanje ugla nagiba terena pomoću grida, ulazni podatak predstavlja raster površi terena, a rezultat raster koji u sebi sadrži proračun nagiba svake ćelije ulaznog rastera. Ugao nagiba za TIN-a računa se nad svakim trouglom, a kao izlaz takođe se dobija raster. Manja vrednost sračunatog ugla nagiba, ukazuje na ravniji teren i obratno, veća vrednost nagiba ukazuje na strmiji teren (sl. 5).



Sl. 5. 3D prikaz ugla nagiba terena

Hipsometrijske karakteristike terena

Hipsometrijska karakteristika terena se razmatra u odnosu na nadmorsku visinu, odnosno po definisanim visinskim slojevima (0 - 200 m, 200 m - 500 m ...) (sl.6). Ovakvo razmatranje terena u kombinaciji sa ostalim njegovim morfometriskim karakteristikama a posebno sa nagibom, pruža značajne podatke o potencijalu prostora za razvoj poljoprivrede, turizma, razmeštanju i razvoju naselja. Za oružane snage je od velikog značaja hipsometrijska analiza reljefa države ili nekog prostora u cilju razmeštanja i opremanja ljudstva u skladu sa karakteristikama terena na kome se razmeštaju ili izvode borbena dejstva. Takođe, nadmorska visina ima veliki uticaj na mikroklimatske uslove posmatranog prostora.



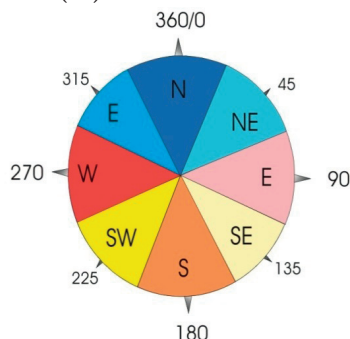
Sl. 6. 2D i 3D prikaz hipsometrijske skale terena

Ekspozicija terena

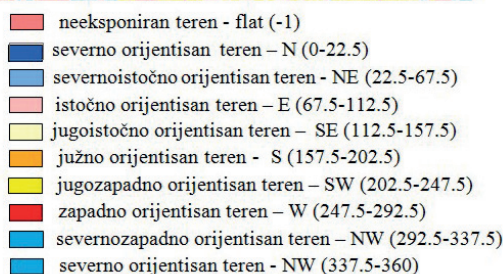
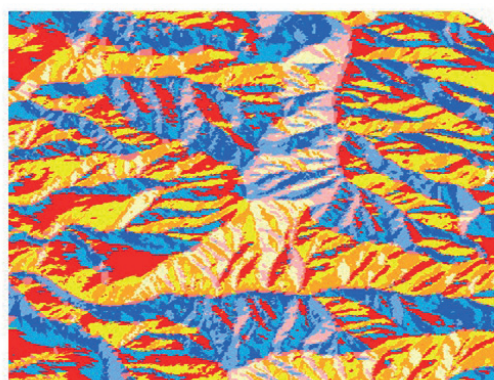
Ekspozicija terena je danas vrlo značajan prirodni faktor i njeno proučavanje sve više dobija na težini kada govorimo o evaluaciji morfometriskih karakteristika terena.



Ekspozicija (eng. aspect) terena predstavlja orijentaciju nagiba terena u odnosu na strane sveta. U DMT se proračunava za svaki trougao u TIN-u ili za svaku ćeliju rastera grida. Ekspozicija terena može imati vrednosti od 0° (pravac severa) - 360° (opet pravac severa) (sl. 7.). Vrednost svake ćelije grida ekspozicije ukazuje na orijentaciju površi terena u zavisnosti od ugla nagiba (sl.8). Ukoliko je teren ravan, to znači da je neekspozicioniran i za njegovu vrednost se uzima (-1).



Sl. 7. Šablon za određivanje orijentacije nagiba terena



Sl. 8. Rasterski prikaz ekspozicije terena dobijen iz DMT

Određivanje ekspozicije terena je značajno za:

- pronalaženje severnih strana planine sa povonjnim nagibima za izradu ski staza;
- proračun količine sunčeve svetlosti za svaku lokaciju u posmatranom regionu kao delu studije koja se

provodi o načinu i organizaciji života koji su uslovljeni sunčevom energijom;

- pronalaženje terena koji su orijentisani ka jugu, posebno planinskih koji se identifikuju kao lokacije sa kojih će doći do prvog otapanja snega i mogućnosti stvaranja bujica razornog dejstva po čoveka i njegova naselja;
- identifikovanje oblasti sa ravnim terenom, koje bi mogle da posluže za sletanje aviona u hitnim slučajevima.

ZAKLJUČAK

Savremene GIS aplikacije sadrže neophodan set alata koji omogućavaju realizaciju različitih tipova geoprostornih analiza nad geoprostornim podacima u digitalnom obliku što predstavlja osnovu za evaluaciju različitih vrednosti morfometrijskih karakteristika terena. Dobijeni rezultati omogućavaju sagledavanja uticaja terena na ljudske aktivnosti na određenom prostoru, pri čemu se dobijaju precizni podaci u relativno kratkom vremenskom intervalu. Dobijeni podaci mogu se prezentovati u numeričkom, vektorskom i grafičkom obliku i mogu se kombinovati sa drugim vektorskim i rasterskim podacima, kao što su različite tematske karte, hidrometeorološki podaci i dr.

LITERATURA

- [1] D. Bolić, „Menedzment obaveštajnih podataka i informacija“, Novi glasnik, broj 1, Beograd, 2011.
- [2] M. Kukrika, „Prostorni informacioni sistemi“, Skripta, Geografski fakultet, Beograd, 2000.
- [3] D. Markovic, „Prostorni informacioni sistemi“, Centar za ŠONID, Vojnotehnička akademija, Beograd, 1999.
- [4] L. Miller and A. Laflamme, „The digital terrain model-theory and applications“, Photogrammetric engineering 24 (3): pp. 433-422. 1958.
- [5] L.J. Гиговић, „Geografski informacioni sistemi“, Vojna Akademija, Beograd, 2009.
- [6] Ž. Cvjetinović, „Razvoj metodologije i tehnoloških postupaka za formiranje modela terena za teritoriju države“, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
- [7] S. Vacca, „La valutazione dei caratteri del territorio nella pianificazione-metodi ed applicazioni“, Franco Angeli, Milano, 1992.
- [8] L. A. Valesijan, „Proizvodstveno teritorijalni kompleks Jarmanjskoj SSS“, Ajasan, Erivan, 1970.

EVALUATION OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS TERREIN APPLYING GIS TECHNOLOGY

Abstract:

Modern technology and terrain data in digital form, organized into appropriate database, ensure that the physical-geographical spatial data combined and observe in a broader context. Geospatial analysis of digital terrain modeled data for evaluation of morphometric characteristics of the terrain including selection and organization of the optimum ljuantity of available data, and the application of a series of mathematically defined algorithms, methods and GIS software applications for their modeling, updates, analysis and presentation. Evaluation of the morphometric characteristics of the terrain offers the possibility to potential environment from different viewpoints and needs of the population living in the analyzed area.

Key words:

Geographic Information System, geospatial analysis of terrain, digitally modeled data, morphometric characteristics of he terrain.