

EVALUACIJA MORFOMETRIJSKIH KARAKTERISTIKA ZEMLJIŠTA PRI IZRADI KARTE TENKOPROHODNOSTI

Borisov A. *Mirko*, Banković D. *Radoje*, Drobnjak M. *Siniša*,
Vojska Srbije, Vojnogeografski institut, Beograd

UDK: 528.718

Sažetak:

Geomorfometrijska istraživanja u vojnogeografskoj analizi terena zasnivaju se na GIS prostornim analizama. One podrazumevaju vrednovanje geomorfoloških parametara reljefa radi obezbeđivanja karata tenkoprohodnosti potrebnih za analizu prohodnosti i preglednosti terena, kao i mogućnosti zaštite i maskiranja oružanih snaga. Analiza vrednovanja geomorfoloških parametara terena urađena je za test-područje Avale pomoću nekoliko topografskih atributa (vidljivost, ekspozicija terena, nagib terena) koji su određeni na osnovu analize digitalnog modela terena primenom GIS alata i njima su pridružene pojedine kvalitativne osobine terena (gustina vegetacionog pokrivača, tipovi tla).

Ključne reči: geomorfometrija, nagib, ekspozicija i prohodnost terena.

Uvod

Reljef je jedan od najznačajnijih elemenata prirodne sredine, upravo zbog toga što se najsporije i najmanje menja. Od njega umnogome zavise najznačajnija svojstva određenog prostora, kao što su: klima, karakteristike hidrografije, pedološki i vegetacioni pokrivač, raspored naselja, komunikacije, poljoprivreda i industrija. Posmatrano sa vojnog aspekta, reljef ima veliku ulogu u izradi zaklona, utiče na borbeni raspored, određuje prohodnost, a i pruža velike mogućnosti za orijentaciju u prostoru.

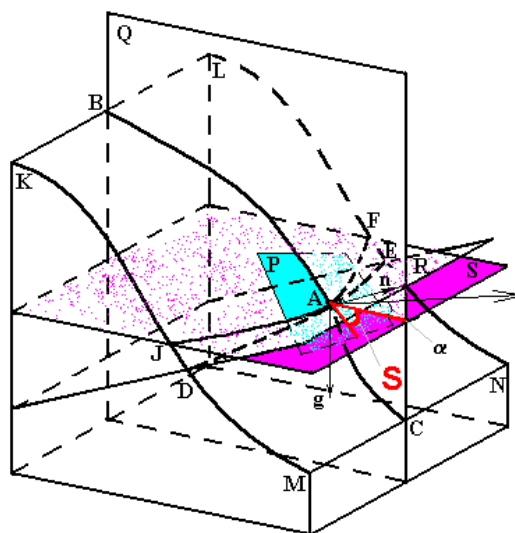
Topografski atributi ili geomorfološki parametri mogu se podeliti na primarne topografske attribute, koji se računaju direktno iz digitalnog modela terena (DMT), i složene ili sekundarne attribute, koji sadrže kombinaciju primarnih atributa. Kao primarni topografski parametri izdvajaju se veličine koje mogu karakterisati bilo koju dvodimenzionalnu površ i koji predstavljaju morfometrijske karakteristike reljefa nad kojim se sprovodi evaluacija, a to su [1]: nagib terena (engl: Slope) i ekspozicija (engl: Aspect).

Nagib terena

Nagib terena (S) predstavlja najznačajniji topografski parametar, s obzirom na to da je površ terena kompletno formirana od nagiba i nagibni uglovi kontrolišu gravitacione sile koje pokreću sve geomorfološke procese. Nagib terena definiše gradijent terena koji predstavlja vektor koji pokazuje pravac najvećeg rasta skalarne funkcije $z = f(x, y)$. On predstavlja magnitudu ovog vektora ili intenzitet promene visine u pravcu najveće kosine.

Nagib terena u nekoj tački definiše se kao ugao meren u vertikalnoj ravni koji zahvata tangencijalna ravan na površ terena u datoj tački sa horizontalnom ravni u istoj tački (slika 1).

$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} = \sqrt{z_x^2 + z_y^2} \quad (1)$$



Slika 1 – Računanje ugla nagiba
Figure 1 – Slope calculation

Od nagiba terena, pored ostalog, zavisi brzina oticanja površinskih voda, zasićenost zemljišta vlagom i intenzitet geomorfoloških procesa.

Pri računanju nagiba terena treba imati u vidu sledeće važne napomene:

- DMT visoke rezolucije rezultira visokom tačnošću sračunatih nagiba terena;
- srednja vrednost i disperzija sračunatih nagiba opadaju sa povećanjem rastojanja (dimenzije gridne ćelije) DMT-a;

– uticaj rezolucije DMT-a očigledniji je duž karakterističnih zemljišnih oblika (doline, vododelnice, itd.);

– uticaj nesigurnosti DMT-a mnogo je veći na tačnost sračunatih nagiba nego na tačnost interpolovanih visina.

Određivanje ugla nagiba terena može se izvršiti na dva načina: klasičnim i savremenim načinom određivanja ugla nagiba terena.

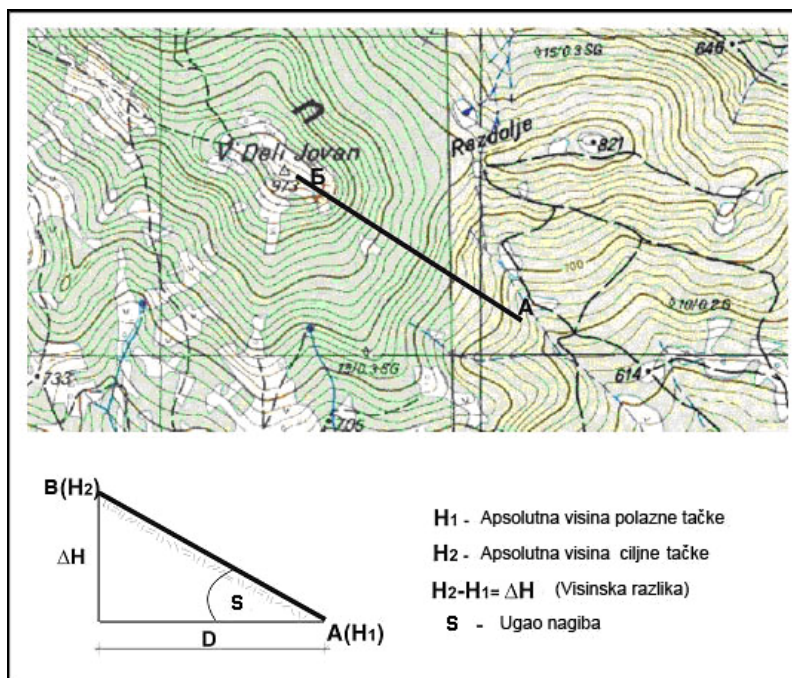
Pri klasičnom načinu određivanja ugla nagiba, uglom nagiba (S) smatra se vertikalni ugao pod kojim je zemljište nagnuto u određenom pravcu. Takođe, uglom nagiba može se smatrati vertikalni ugao koji bi zaklapao pravac od polazne tačke do ciljne tačke sa njihovim horizontalnim rastojanjem (slika 2).

Ugao nagiba u reljefu zemljišta može se odrediti klasičnom metodom na dva načina [2]:

a. grafički – konstrukcijom pravouglog trougla (slika 2), gde je potrebno poznavati sledeće veličine: D – pravolinijsko rastojanje na karti između tačaka A i B, i ΔH – visinsku razliku između tačaka, a zatim sa konstruisanog pravouglog trougla izmeriti oštar ugao S – ugao nagiba;

b. pomoću formule broj 2:

$$\operatorname{tg} S^{\circ} = \frac{\Delta H}{D} \quad (2)$$



Slika 2 – Ugao nagiba
 Figure 2 – Slope

Pomenute načine određivanja ugla nagiba moguće je primeniti samo na pravcima na kojima je nagib zemljišta ujednačen. U suprotnom, nagib je potrebno određivati parcijalno (od tačaka gde se nagib drastično menja).

Formirani DMT može se predstaviti pomoću mreže nepravilnih trouglova (TIN – *Triangulated Irregular Network*) i u formi rastera (GRID) [3].

Savremeni način računanja ugla nagiba zasniva se na prethodno formiranom DMT sa odgovarajućom bazom podataka. Ukoliko se radi o DMT koji je formiran u obliku TIN-a ugao nagiba za neku lokaciju na površi određuje se tako što se proračunava ugao nagiba za svaki trougao u TIN-u. Kada se radi o gridu onda se vrši proračun za svaku ćeliju rastera. Kod TIN-a ugao nagiba predstavlja maksimalnu veličinu promene nagiba duž svakog trougla, dok kod grida postoji više načina računanja ugla nagiba na osnovu svake ćelije grida i njenih osam susednih ćelija. Kada vršimo određivanje nagiba terena pomoću grida ulaz predstavlja ulazni raster površi terena, dok kao rezultat dobijamo raster koji sadrži proračun nagiba svake ćelije ulaznog rastera. Pri proračunu ugla nagiba kod TIN-a računa se nagib nad svakim trouglom, a kao izlaz takođe se dobija raster. Manja vrednost sračunatog nagiba, bilo da se radi o TIN-u ili gridu, ukazuje na ravniji teren, a veća vrednost nagiba na strmiji teren [4].

Ako je DMT formiran u obliku rastera (GRID-a) postoji više načina za računanje ugla nagiba, kao što su:

a) metod kraljice:

$$S = \sqrt{S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2} \times 100$$

$$S_{e-w} = \frac{(z_3 + 2z_4 + z_5) - (z_1 + 2z_8 + z_7)}{8 \times d} \quad (3)$$

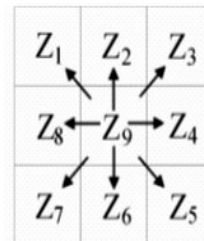
$$S_{n-s} = \frac{(z_1 + 2z_2 + z_3) - (z_7 + 2z_6 + z_5)}{8 \times d}$$

b) metod topa:

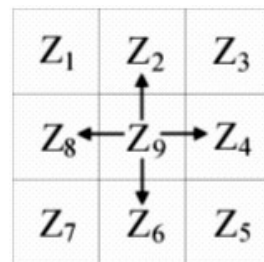
$$S = \sqrt{S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2} \times 100 \quad (4)$$

$$S_{e-w} = \frac{z_4 - z_8}{2 \times d}$$

$$S_{n-s} = \frac{z_2 - z_6}{2 \times d}$$



Slika 3 – Metod kraljice
Figure 3 – Queen's case



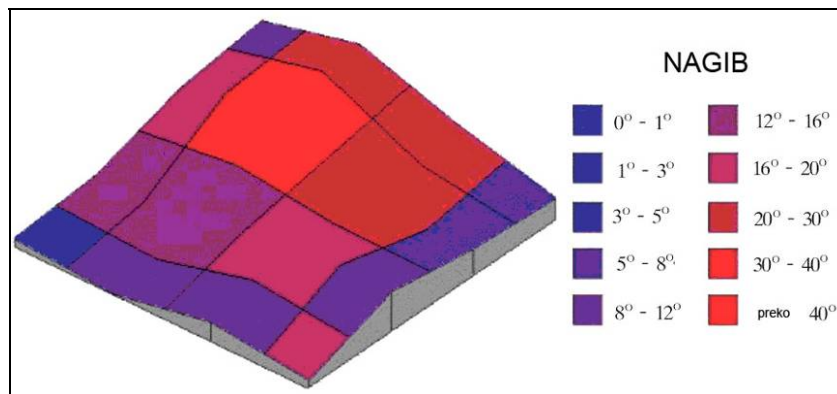
Slika 4 – Metod topa
Figure 4 – Rook's case

c) metod maksimalnog gradijenta:

$$S = \max \left(\frac{z_9 - z_i}{d_c} \right) \times 100 \quad (5)$$

gde su S – nagib terena, z_i – ćelija GRID-a i d – rezolucija GRID-a

Nagib terena može se izraziti u procentima i promilima. Ugao nagiba terena ima veliki značaj u određivanju predispozicija nekog prostora za odvijanje različitih procesa u prirodnoj sredini, a posebno je značajan za sprovođenje ljudskih aktivnosti. Radi lakše analize i sagledavanja potencijalnih mogućnosti za razvoj nekog geografskog prostora, izvršena je opšta klasifikacija terena u zavisnosti od nagiba (tabela 1 i slika 5)



Slika 5 – Nagib terena
Figure 5 – Slope

Tabela 1
Table 1

Opšta klasifikacija terena u zavisnosti od veličine ugla nagiba terena
General terrain classification subject to slope angular magnitude

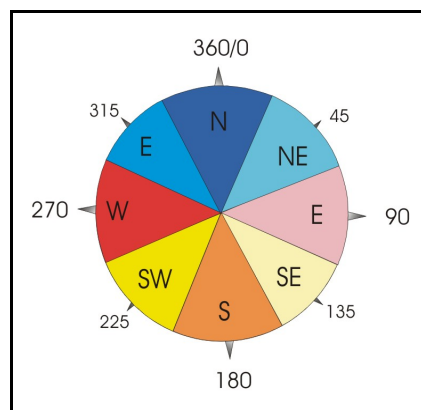
Ugao nagiba	Tip terena u zavisnosti od veličine ugla nagiba
do 1°	RAVAN TEREN
okt. 30	VRLO BLAGO NAGNUT TEREN
3–5°	BLAGO NAGNUT TEREN
5–8°	PRILIČNO NAGNUT TEREN
8–12°	ISKOŠEN TEREN
12–16°	VRLO ISKOŠEN TEREN
16–20°	UMERENO STRM TEREN
20–30°	SREDNJE STRM TEREN
30–40°	JAKO STRM TEREN
preko 40°	

Razvojem tehnologije omogućeno je da se pojedine ljudske delatnosti obavljaju i pod mnogo nepovoljnijim reljefnim uslovima. Ipak, nagib terena ostao je neizbežan prirodni element koji ima veliki uticaj na razvoj poljoprivrede, naselja i turizma.

Ekspozicija terena

Ekspozicija (eng. aspect) terena predstavlja orijentaciju linije najvećeg nagiba za posmatranu tačku. Ona se definiše kao orijentacioni ugao (azimut) pravca najvećeg pada terena. Određuje se od pravca severa do pravca najvećeg pada terena, mereno u pravcu kretanja kazaljke na satu. Ovaj topografski parametar posebno je značajan u hidrologiji, ekološkom inženjerstvu i agronomiji. Aspekt praktično određuje pravac oticanja površinskih voda i vrlo je bitan pri izradi modela osunčanosti terena. On, takođe, utiče na sadržaj vlage u zemljištu, isparenja, kao i zastupljenost biljnih vrsta [7].

Ekspozicija terena danas je vrlo značajan prirodni faktor i njeno proučavanje u novije vreme sve više dobija na težini kada govorimo o evaluaciji morfometrijskih karakteristika terena. Ekspozicija terena predstavlja orijentaciju nagiba terena u odnosu na strane sveta. Ekspozicija se u DMT proračunava za svaki trougao u TIN-u ili za svaku ćeliju rastera kada se radi o gridu. Ekspozicija terena može imati vrednosti od 0° (pravac severa) do 360° (opet pravac severa), što se može videti na slici 6. Vrednost svake ćelije grida ekspozicije ukazuje na orijentaciju površi terena u zavisnosti od ugla nagiba. Ukoliko je teren ravan, to znači da je neekspozicioniran i za njegovu vrednost se uzima (-1).



Slika 6 – Šablon za određivanje orijentacije nagiba terena
Figure 6 – Pattern for aspect determination

Na šablonu koji se nalazi na slici 6 može se videti da teren, na osnovu svog nagiba, može da bude orijentisan u sledećim pravcima: N, NE, E, SE, S, SW, W i NW. Značaj u određivanju ekspozicije terena ogleda se u sledećem:

- pronalaženju severnih strana planine sa povoljnim nagibima za izradu skijaških staza;
- proračunu količine sunčeve svetlosti za svaku lokaciju u posmatranom regionu kao delu studije koja se sprovodi o načinu i organizaciji života koji su uslovljeni Sunčevom energijom;
- pronalaženju 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;
- identifikovanju oblasti sa ravnim terenom, koje bi mogle da posluže za sletanje aviona u hitnim slučajevima.

Klasifikacija terena na osnovu njegovog potencijala, u zavisnosti od ekspozicije, prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2
Table 2

Ekspozicija terena
Terrain aspect

	EKSPOZICIJA TERENA			
	NAJPOVOLJNIJI	POVOLJNI	USLOVNO POVOLJNI	NEPOVOLJNI
POLJOPRIVREDA	neeksponirane S, SE, SW	E	W	N, NE, NW
NASELJAVANJE	S, SE, SW	Neeksponirane	W, E	N, NE, NW
ZIMSKI TURIZAM	N, NE, NW	E	W	S, SE, SW Neeksponirane

Analiza ugla nagiba i prohodnosti terena za potrebe oružanih snaga

Prohodnost terena je od izuzetnog značaja za uspešno izvođenje borbenih dejstava na određenom prostoru. Pored informacije o prohodnosti terena od velikog značaja je i brzina kojom se vrši analiza terena i određivanje ugla nagiba na osnovu kojeg se i zasniva ocena o prohodnosti terena. Do brze i precizne informacije o prohodnosti može se doći na

osnovu urađenog DMT-a i odgovarajuće baze podataka koja ga prati. Iz toga proizilazi značaj da svaka država poseduje DMT određene tačnosti.

Kada se govori o prohodnosti nekog terena prvenstveno se misli na razvijenost i kvalitet putne mreže na tom prostoru. Što je putna infrastruktura gušća i dobrog kvaliteta utoliko se odgovarajući zemljišni prostor smatra komunikativnijim, što znači da je samim tim i prohodniji. Međutim, kada se govori o prohodnosti određenog zemljišnog prostora treba imati u vidu da se njegova prohodnost ne ocenjuje samo na osnovu putne mreže, već i na osnovu mogućnosti da se po tom terenu vrši kretanje i van putne mreže. Na prohodnost nekog terena utiče više faktora, kao što su [2]:

- reljef zemljišta,
- vegetacioni pokrivač,
- vrste zemljišta,
- površinske vode,
- atmosfere prilike,
- godišnja doba i
- taktičko-tehničke karakteristike samih vozila.

Tabela 3
Table 3

Prohodnost vozila van puteva u zavisnosti od nagiba terena
Cross-country vehicle ground clearance subject to terrain slope

KATEGORIJE PROHODNOSTI ZA LJUDSTVO, TERENSKA I TERETNA VOZILA	PROSEČAN NAGIB (u stepenima)	KATEGORIJE PROHODNOSTI
Terenska i teretna vozila – točkaši sa prikolicom	0–5°	prohodno
	5–10°	ograničeno prohodno
Tenkovi, terenska i teretna vozila bez prikolice	10–20°	jako ograničeno prohodno
Tenkovi, vozila – točkaši sa dva pogonska mosta, vozila guseničari, tovarna grla sa lakim teretom	20–30°	
Samohodna oruđa do 35°, na kraćem odstojanju po ujednačenom nagibu u nekim slučajevima tenkovi i do 40°	30–40°	neprohodno
Za grupe vojnika, a u slučajevima kada je nagib veći od 45° moraju se pridržavati za rastinje i ispuste	40–60°	
Posebno obučeno ljudstvo sa specijalnom opremom	preko 60°	

Od svih navedenih činilaca reljef terena i vegetacioni pokrivač mogli bi se izdvojiti kao činioci koji imaju najveći uticaj na prohodnost terena. Ispresecanost reljefa, nagib terena, visinske razlike, gustina vegetacionog pokrivača i gustina komunikacijske mreže jesu osobine koje najviše utiču na prohodnost zemljišta [8].

Prohodnost vozila van puteva, u zavisnosti od nagiba terena, može se sagledati u tabeli 3. U drugoj koloni tabele nalaze se numeričke vrednosti kategorija, dok treća kolona prikazuje kategorije prohodnosti. Prohodnost u tabeli 3 odnosi se na kretanje po tvrdom i suvom tlu.

Pored informacije da neka vozila mogu savladati odgovarajući nagib na nekom terenu, za planiranje borbenih dejstava takođe je bitno i saznanje o brzini kojom se mogu savladati nagibi (tabela 4).

Tabela 4

Table 4

Brzina kretanja vozila na suvom i tvrdom terenu u zavisnosti od nagiba terena

Vehicle velocity on hard and dry ground subject to terrain slope

VRSTA VOZILA	Brzina kretanja (km/h) pri nagibu terena (u stepenima)			
	3–6°	6–10°	10–15°	15–20°
Kamioni	20–15 km/h	15–12 km/h	12–8 km/h	8–5 km/h
Tenkovi	15–12 km/h	12–10 km/h	10–6 km/h	6–4 km/h
Oklopni transporter i tegljači guseničari	12–10 km/h	10–7 km/h	7–5 km/h	5–3 km/h
Ljudstvo	5 km/h	4 km/h	3,5 km/h	3 km/h

U tabeli 4 prikazana je prohodnost vozila na terenu koji je tvrd i suv. Međutim, prohodnost umnogome zavisi od klimatskih uslova i tehničkih karakteristika vozila. U tabeli 5 prikazana je prohodnost nekog terena za vozila, u zavisnosti od visine snežnog pokrivača i ugla nagiba.

Tabela 5

Table 5

Brzina kretanja vozila na snežnom pokrivaču u zavisnosti od nagiba terena

Vehicle velocity on snowy ground subject to terrain slope

Vrsta vozila ili oruđa	Nagib terena (u stepenima)	Debljina snežnog pokrivača koji se može savladati (cm)
Tenkovi	do 5	od 60 do 75 cm
	5–10	od 40 do 55 cm
	10–15	od 30 do 45 cm
	15–20	do 25 cm
Traktori i tegljači	do 5	od 50 do 60 cm
Kamioni	do 5	od 25 do 30 cm

U praktičnom delu rada urađena je karta prohodnosti za područje Avale, odnosno lista karte 1:25000 Smederevo 430-3-1. U procesu izrade karte prohodnosti korišćeni su algoritmi za računanje nagiba terena i ekspozicije reljefa softverskog paketa ArcGis 9.3 i SAGA GIS .

Analiza uticaja vegetacionog pokrivača na prohodnosti terena za potrebe oružanih snaga

Vegetacioni pokrivač, pored nagiba terena, predstavlja jedan od najznačajnijih činilaca pri analizi i određivanju prohodnosti određenog zemljišta van komunikacija. Veće šumske komplekse i voćnjake treba razvrstati prema kategorijama prohodnosti šuma na sledeći način [9]:

– prohodne šume i voćnjaci su prohodni na celoj svojoj površini ili se lako obilaze;

– ograničeno prohodne šume i voćnjaci imaju više prohodnih proplana, proseka i šumskih puteva;

– vrlo ograničeno prohodne šume i voćnjaci jesu kompleksi šuma i voćnjaka sa malim brojem proseka i puteva;

– neprohodne šume i voćnjaci.

Šumske komplekse i voćnjake na neprohodnom zemljištu nije potrebno posebno razmatrati jer spadaju u kategoriju neprohodnog zemljišta. Kao osnovni izvor podataka o stanju vegetacije na određenom zemljištu korišćeni su podaci dobijeni postupkom automatske klasifikacije i ekstrakcije podataka vegetacije sa satelitskih snimaka, koji su rađeni za potrebe dopune i ažuriranja topografske karte 1:25000 [10]. Urađena je automatska ekstrakcija vegetacionog pokrivača sa SPOT satelitskog snimka i analiza uticaja vegetacionog pokrivača na prohodnost terena, za područje Avale, odnosno lista karte 1:25000 Smederevo 430-3-1. U procesu klasifikacije i ekstrakcije vegetacije sa satelitskih snimaka primenjeni su brojni algoritmi dva osnovna tipa klasifikacije: automatske i poluautomatske klasifikacije.

Automatska klasifikacija

Automatski klasifikacioni proces (slika 7) razdvaja rasterske objekte zasnovane na statističkim grupisanjima spektralnih osobina određenih malom korisničkom intervencijom. Proces je dizajniran tako da radi sa rasterima koji predstavljaju multispektralne snimke. Multispektralni snimak obuhvata crveni, zeleni i plavi spektralni kanal skenirane kolor fotografije, ali se može sastojati od seta vidljivih i infracrvenih kanala kao kod landsat ili SPOT snimaka. Automatska klasifikacija dizajnirana je za upotrebu sa konvencionalnim multispektralnim snimcima, ali većina programskih paketa omogućava učitava-

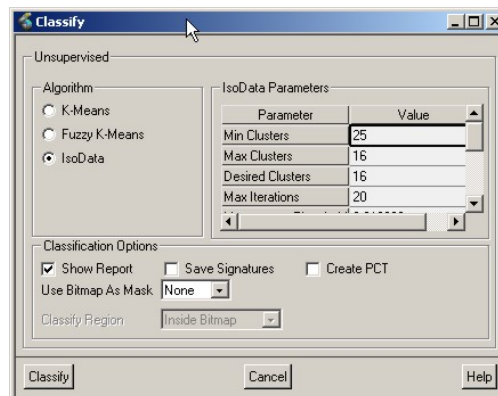
vanje neograničenog broja rasterskih objekata (kanala). Takođe, postoji mogućnost da se istovremeno u klasifikacione procese uključe rasterski podaci iz različitih senzora, kao što su landsat i radarski snimci.



Slika 7 – Jedan od oblika automatske klasifikacije zemljišta
Figure 7 – One of automatic soil classification views

Automatski klasifikacioni proces obezbeđuje nekoliko metoda za upoređivanje spektralnog rasporeda svih piksela i dodeljivanje piksela sa sličnim rasporedom istoj klasi. Proces automatski vrši kategorizaciju piksela snimka u spektralne klase koje su interpretacija specifičnog površinskog materijala ili odgovarajuće vrste Zemljinog pokrivača.

Kod ovog tipa klasifikacije nije potrebno nikakvo prethodno editovanje snimka, jer tu praktično nema subjektivnog uticaja na krajnji rezultat klasifikacije. Potrebno je zadati odgovarajuće parametre (ulazne kanale, broj klasa, broj iteracija, željeni procenat nepromenjenosti, tip klasifikacije (K-means, FuzzyK-means, ISODATA), kao što je prikazano na slici 8), posle čega je proces automatizovan korišćenjem odgovarajućih matematičkih algoritama [5].



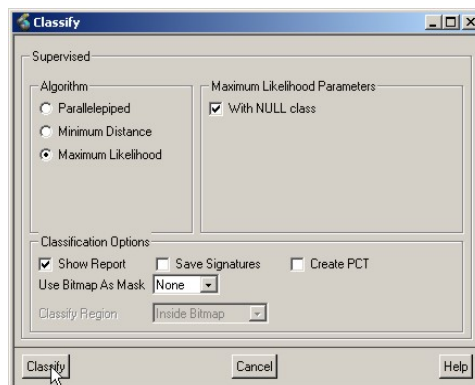
Slika 8 – Parametri i tip automatske klasifikacije
Figure 8 – Unsupervised classification algorithm

Poluautomatska klasifikacija

Poluautomatska klasifikacija podrazumeva izvršavanje zadatih instrukcija na osnovu formiranog „ključa“ za analizu multispektralnih snimaka. Izdvojena test-područja odlikuju se jedinstvenim spektralnim karakteristikama, što predstavlja osnov za izdvajanje tematskih kategorija, tj. klasa podataka sa istim osobinama. Drugi deo poluautomatske klasifikacije obavlja se kompjuterskom analizom vrednosti piksela izabranih klasa, primenom statističkih parametara, kao što su srednja vrednost, standardna devijacija i dr. Na taj način se procenjuje svaki piksel i pridružuje određenoj klasi na osnovu utvrđene sličnosti, saglasno prethodno formulisanom ključu klasifikacije. Nakon izvršene klasifikacije utvrđuje se kvalitet dobijenih rezultata. Ukoliko rezultati nisu prihvatljivi pristupa se popravka ma koje obuhvataju ponovno i preciznije određivanje klasa.

Pri sprovođenju ovog postupka klasifikacije potreban je znatno veći uticaj interpretatora, kao i prethodno istraživanje područja (terensko iskustvo, podaci iz drugih izvora i dr.). Na početku ovog postupka potrebno je utvrditi uzorke i brojeve klasa koji se definišu, što se postiže odabiranjem test-uzorka. Interpretator treba da odabere piksel-uzorak, kao reprezentativni piksel za svaku klasu (test-training uzorci). Podaci o spektralnoj refleksiji određenih uzoraka (jedan uzorak po klasi) čine reprezentativni podatak za određenu klasu. Skup tih uzoraka poslužiće kasnije u računskoj klasifikaciji na celom snimku [5].

Posle utvrđivanja kvaliteta odabranih uzoraka prelazi se na sam proces klasifikacije biranjem jednog od nekoliko algoritama klasifikacije. Pri klasifikaciji se najčešće koriste algoritmi: „kubijski klasifikator“, minimalno rastojanje do grupe prosečnog klasifikatora i maksimalna verovatnoća klasifikatora (slika 9).



Slika 9 – Algoritmi poluautomatske klasifikacije
Figure 9 – Supervised classification algorithms

Tačnost klasifikacije

Tačnost klasifikacije vegetacionog pokrivača, s obzirom na terensko opažanje, definiše se vrednošću kapa koeficijenta $\kappa \in [-1, +1]$. Uopšteno, kapa koeficijent se smanjuje sa povećanjem broja klasa, tj. što se izaberu finije klase veća je mogućnost greške u klasifikaciji. Kapa koeficijent je $\kappa = 0$ za čisto podudaranje između dve ukupne slučajne klasifikacije i dostiže $\kappa = 1$ za kompletnu usaglašenost između klasifikacije i podataka. Tačnost klasifikacije vegetacije sa satelitskih snimaka najčešće se izražava u procentima i kreće se od 88,9% kod landsatovih TM snimaka do 96% kod SPOT i IKONOS multispektralnih snimaka. Dobijena tačnost klasifikovane vegetacije iznosi 94,4 %.

Test-područje i ulazni podaci

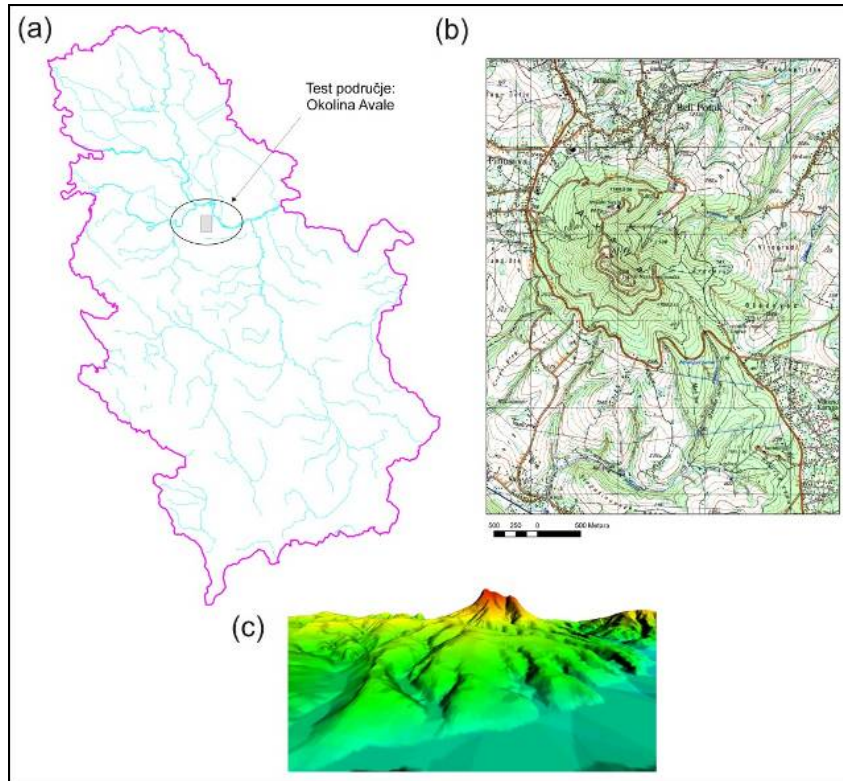
Test-područje obuhvata planinu Avalu, kao i predele južno i jugozapadno od Avale, na površini koju pokriva jedan list topografske karte razmere 1:25000 (TK25 nomenklatura: 430-3-1) izdanja Vojnogeografskog instituta (VGI). Kao osnovni podaci za generisanje DMT-a korišćeni su vektorski podaci reljefa koji se sastoji od vektorizovanog sadržaja reljefa TK25 (kote i izohipse). Vektorizovanim elementima sadržaja reljefa dodeljeni su podaci o njihovim visinama. U procesu generisanja DMT-a, osim ovih podataka, korišćeni su i podaci sadržani u Digitalnom katalogu trigonometrijskih tačaka, što je znatno doprinelo poboljšanju tačnosti generisanog DMT-a. Na slici 10 možemo videti test-područje Avale [6].

Kao osnovni izvor podataka, za ekstrakciju vegetacije korišćen je snimak satelitskog sistema za konstantno osmatranje SPOT 5 HRS (Systeme Pour l'Observation de la Terre). Ovaj sistem je opremljen sa dva senzora tipa HRS (High Resolution Stereoscopic – sistem visoke rezolucije u vidljivom i infracrvenom delu spektra sa mogućnošću stereoskopskog preklapanja dva susedna snimka) sa karakteristikama prikazanim u tabeli 6.

Tabela 6
Table 6

Karakteristike snimka SPOT 5
Characteristics of SPOT5 images

Kanal	Talasne dužine	Područje u spektru	Rezolucija
Panhromatski	0,48–0,71 μm	vidljivi deo spektra	2,5 ili 5 m
Kanal 1	0,50–0,59 μm	zeleno	10 m
Kanal 2	0,61–0,68 μm	crveno	10 m
Kanal 3	0,78–0,89 μm	blisko infracrveno	10 m
Kanal 4	1,58–1,75 μm	srednje infracrveno	20 m



Slika 10 – Test područje Avale: (a) Položaj u Republici Srbiji; (b) TK25; (c) Perspektivni prikaz test područja
 Figure 10 – Avala test area: (a) Location in the Republic of Serbia; (b) TM 1:25 000; (c) 3D view of the test area

Snimak zahvata sledeće područje:

Zahvaćeno područje
 Covered area of SPOT 5 image

Tabela 7
 Table 7

	Geografska širina	Geografska dužina
1	44° 37' 30 "	20° 30 ' "
2	44° 37' 30 "	20° 37 ' 30 "
3	44° 45 ' "	20° 37 ' 30 "
4	44° 45 ' "	20° 30 ' "

Površina koju zahvataju SPOT snimci iznosi 60x60 km². Međutim, za klasifikaciju vegetacije korišćen je već pripremljen satelitski snimak isečen tačno da zahvata područje jednog lista topografske karte razmere 1:25000. U zavisnosti od potreba korisnika firma SPOT Image isporučuje već obrađene satelitske snimke na različitim nivoima (1A, 1V i 2A).

Snimak je isporučen na nivo 2A, što znači da je urađena prethodna obrada koja podrazumeva radiometrijsku korekciju snimka, georeferenciranje u UTM WGS 84 projekciju bez upotrebe kontrolnih tačaka i rektifikaciju snimka sa srednjom visinom scene. Pošto je rezolucija snimka 10 m, potrebno je uraditi što preciznije georeferenciranje, jer se svaka nepreciznost odražava na kasnijem položaju vektora granica kultura.

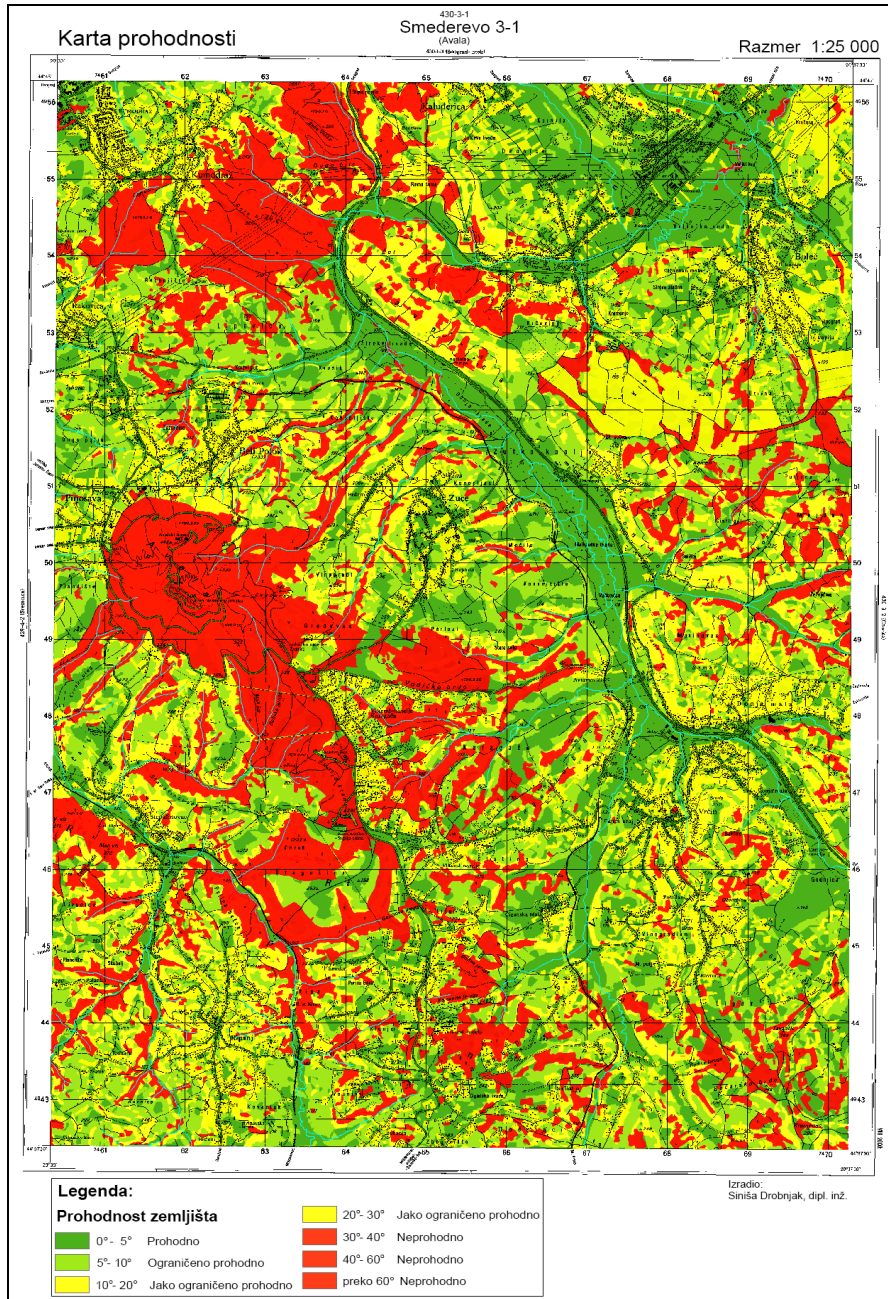
Konačni rezultati analize prohodnosti zemljišta prikazani su na karti prohodnosti terena (prilog 1).

Zaključak

U ovom radu sagledane su mogućnosti evaluacije morfometrijskih karakteristika terena, na osnovu formiranog DMT, radi izrade karte prohodnosti zemljišta test-područja. Posebna pažnja posvećena je prostornoj analizi podataka organizovanih u obliku DMT i njihovoj evaluaciji, primenom savremenih tehnologija i softvera. Sam rad ne treba posmatrati vezano za konkretni prostor, već kao metodološki postupak analize bilo kog prostora za civilne i vojne potrebe pri izradi karata tenkoprohodnosti. Formiranjem DMT-a pruža se mogućnost za neograničenim brojem kombinovanja različitih vrednosti morfometrijskih karakteristika radi analize i sintezne ocene za različite namene, pri čemu se dobijaju precizni podaci u kratkom roku.

Poseban značaj rada ogleda se u oceni morfometrijskih karakteristika za potrebe obaveštajne pripreme bojišta i formiranju preciznih karata prohodnosti za potrebe oružanih snaga. Takođe, treba istaći i jednu od najznačajnijih karakteristika ovako organizovanih podataka, a to je da se mogu lako kombinovati i sa drugim digitalnim podacima, kao što su geološke karte, karte podzemnih voda, hidrometeorološke karte i drugi.

Može se očekivati da će u bliskoj budućnosti primena prostorne analize i evaluacija prirodnih potencijala na ovaj način biti standardna procedura, jer će vremenom većina podataka biti prevedena u vektorski oblik, a i novi podaci o prostoru biće prikupljeni u vektorskom obliku, pa neće biti potrebe za njihovim prevođenjem.



Literatura

- [1] Bajat, B.: Predavanja iz predmeta geomorfometrija, doktorske studije, Građevinski fakultet, Beograd, 2008.
- [2] Kostić, M.: „Digitalno modelovanje u prostornom planiranju – evaluacija morfometrijskih karakteristika“, Magistarski rad, Geografski fakultet, Beograd, 2007.
- [3] Borisov, M., Banković, R.: „*Digitalni model terena za razmeru 1:50 000*“. Vojnogeografski institut . Zbornik radova, Beograd, 2003.
- [4] Cvjetinović, Ž.: „*Razvoj metodologije i tehnoloških postupaka za formiranje modela terena za teritoriju države*“. Doktorska disertacija. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2005.
- [5] Drobnyak, S.: „Automatska ekstrakcija vegetacionog pokrivača sa satelitskih snimaka“, diplomski rad, Vojna akademija, Beograd, 2005.
- [6] Drobnyak, S., Banković R.: „*Primena simulacija u GIS analizama*“, Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS09, Ivanjica, 2009.
- [7] Đorđević, J.: „*Evaluacija morfometrijskih karakteristika na primeru slivova Jablanice i Veternice*“. Geografski institut “Jovan Cvijić”. Posebna izdanja, knjiga 47. Beograd, 1996.
- [8] Pavlović, M.: „*Regionalna vojna geografija i vojno - geografske karakteristike kopnenog prostora SRJ*“. Sektor za školstvo, obuku, naučnu i izdavačku delatnost, Vojna akademija Vojske Jugoslavije, Beograd, 1999.
- [9] „Uputstvo za izradu karte tenkoprohodnosti zemljišta teritorije SFRJ razmera 1:200000“, Vojnogeografski institut, Beograd, 1973.
- [10] Borisov, M.: Digitalna topografska karta 1:250000 – prema NATO standardima, Vojnotehnički glasnik br. 4/2007, str. 475-478, Beograd, 2007.

EVALUATION OF TERRAIN GEOMORPHOMETRIC CHARACTERISTICS FOR GROUND CLEARANCE CHARTS PRODUCTION

Summary:

Geomorphometric exploration applied in the military terrain analysis is based on the GIS methodology of spatial analyses and is related primarily to military terrain analyses. It includes relief assessment aiming at producing ground clearance charts for the analysis of terrain manoeuvrability and its deployment, cover and concealment possibilities. An evaluation analysis of geomorphological parameters was performed for the Avala test area using a few terrain parameters (visibility, terrain aspect and slope) as well as some terrain qualitative categories (e.g. vegetation density).

Terrain slope

Slope and aspect are morphometric terrain parameters that can be derived directly from the DTM using some GIS operations.

Slope is the first derivative of a surface and has both magnitude and direction. Slope is perhaps the most important aspect of the surface form, since surfaces are formed completely of slopes, and slope angles control the gravitational force available for geomorphic work. Mathematically, the tangent of the slope angle is the first derivative of altitude, and it is a tangent or percent slope as this surface parameter is generally referred to. Slope is defined at each point as the slope of a plane tangent to the surface at that point. In practice, however, slope is generally measured over a finite distance, especially when data are obtained from a contour map.

Terrain aspect

Aspect is also the first derivative of a surface and has both magnitude and direction. The term aspect is defined as the direction of the biggest slope vector on the tangent plane projected onto the horizontal plane. Aspect is the bearing (or azimuth) of the slope direction, and its angle ranges from 0 to 360°.

Analyses of terrain slope and ground clearance for military forces

The analysis of land assessment of the Avala test area included the definition of relief categories in relation to cover and concealment purposes with the aim to include the geomorphological basis into the standard military procedure OCOKA (Observation and fields of fires; Cover and concealment; Obstacles and movement; Key terrain; Avenues of approach). A few parameters of relief significantly influencing the possibilities for cover and concealment (visibility, slope and aspect) were included into the definition of the model of terrain spatial analysis. The morphometric data included in partial assessment categories were determined on the basis of the digital model relief analysis and by using GIS tools and given morphometric relief exploration methods.

Analysis of vegetation effects on ground clearance for military forces

Vegetation, in addition to terrain slope, presents one of the main factors in cross-country analyses and ground clearance assessments. In classification and extraction of vegetation from satellite images, numerous algorithms of two basic classification types, supervised and unsupervised classification, are applied.

Supervised classification requires the identification of cover types of interest by user. Samples of pixels are then selected, based on available ground real information to represent each cover type. These samples are called training areas. The selection of appropriate training areas is based on the analyst's familiarity with the geographical area and his knowledge of the actual surface cover types presented in the image. Thus, the analyst "supervises" the categorization of a set of specific classes.

Unsupervised classification basically reverses the supervised classification process. Spectral classes are grouped first, based solely on the numerical information in the data, and then they are matched by the analyst to information classes (if possible). Programs, called clustering algorithms, are used to determine the natural (statistical) groupings or structures in the data. The analyst usually specifies how many groups or clusters are to be looked for in the data. In addition to specifying the desired number of classes, the analyst may also specify parameters related to the separation distance among the clusters and the variation within each cluster. The result of this iterative clustering process may result in some clusters that the analyst will want to combine subsequently, or clusters that should be broken down further on – each of these requiring a further application of the clustering algorithm. Thus, unsupervised classification is not completely without human intervention.

Study area and THE used data

The Avala hill test area, located in the central part of the Republic of Serbia, has been mapped extensively over the years and several GIS layers are available at various scales. The study area corresponds with one sheet topographic map at a scale of 1:25 000 (TM25 430-3-1) produced in the Military Geographical Institute (MGI). The main geomorphometric features of the test area include hill summits and shoulders, eroded slopes of small valleys, valley bottoms, a large abandoned river channel, and the river terrace. The elevation of the area ranges from 70 m to 500 m with an average of 195.05 m and a standard deviation of 56.7 m.

The basic sources of information were the SPOT 5 image and the digital elevation model generated from the contour lines.

Key words: Geomorphometry, slope, aspect and ground clearance

Datum prijema članka: 28. 04. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 31. 05. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 06. 2010.