

DIGITALNI MODELI VISINA I NJIHOVA PRIMENA U VOJNOJ ANALIZI TERENA

Gigović J. *Ljubomir*, Vojna akademija, Katedra prirodno-matematičkih i tehničkih nauka, Beograd

UDC: 551.4.01:004.92
623.6:004.92

Sažetak:

Predstavljanje terena i zemljišnih oblika uopšte na konvencionalni način klasičnim topografskim kartama bilo je mnogo teže nego predstavljanje ma kog drugog elementa kartografskog sadržaja. Pojavom GIS tehnologija stvoreni su povoljniji uslovi za kreiranje i predstavljanje prirodnog i prostornog izgleda reljefa. Digitalni model terena (DMT) predstavlja savremeni metod visinskog predstavljanja zemljišta i reljefnih oblika. Nastao je sa razvojem računarske tehnike i čini osnovu modernih geografskih informacionih sistema. Na osnovu DMT-a, kroz algoritamsku analizu morfometrijskih parametara reljefa, omogućen je kvalitativno nov način sagledavanja prostornih odnosa i reljefnih svojstava, što obezbeđuje kvalitetniju, višestruko bržu i racionalniju vojnu analizu terena.

Ključne reči (regular): *digitalni model reljefa, GIS tehnologija, vojnogeografska analiza.*

Uvod

Bez obzira na dostignuća u razvoju faktora oružane borbe, posebno materijalnog i informacionog, prostor je i dalje jedan od njenih osnovnih faktora. Raspolaganje sa potpunim, verodostojnim, jednostavnim za korišćenje i pravovremenim informacijama o geografskim pojavama i činiocima i njihovim uticajima, uslov su donošenja pravilnih odluka prilikom izvršavanja različitih zadataka u različitim situacijama. Dosadašnji pristup prostoru ograničavao se na više ili manje statične informacije, da bi razvojem i uvođenjem tehnologija geografskih informacionih sistema (GIS tehnologija) mnogi, uslovno, neprostorni podaci dobili prostorno značenje. Time je načinjen skokoviti prelaz na kvalitativno viši nivo prikupljanja, čuvanja, analize i prezentacije geografskih informacija.

Savremeni razvoj GIS tehnologije svoj odraz je našao i u vojnoj geografiji. To se, pre svega, odnosi na korišćenje hardverske tehnike i različitih GIS aplikacija radi izvođenja brzih, preciznijih i kompleksnijih vojnogeografskih analiza. Posebno veliki napredak učinjen je u digitalnom pre-

zentovanju topografske (reljefne) površine i grafičke vizuelizacije njenih morfometrijskih elemenata. Ranije su se skoro svi postupci geomorfometrijskih proračunavanja izvodili manuelno, uglavnom koristeći topografske karte određenog razmera. To je zahtevalo dosta vremena i napora, a preciznost i tačnost dobijenih rezultata bila je subjektivno određena. Sada kvantitativna analiza reljefa, kao važna osnova vojnogeografske procene geoprostora, na osnovu izrađenih digitalnih modela, omogućava znatno brže, kvalitetnije, kompleksnije i preciznije sagledavanje topografske površine. Kada se posmatra samo vizuelna strana digitalnog modela, njihova prednost jeste u tome da pružaju stvarni doživljaj prostora (vizuelizaciju). Naime, moguće je zumirati i proizvoljno rotirati posmatrani prostor, podešavati pozicije i objekte posmatranja, što omogućava potpuni uvid u situaciju na terenu za samo nekoliko sekundi, simulirati let aviona ili projektila i drugo. Međutim, stvarna namena digitalnog modela je izvođenje brojnih složenih morfometrijskih analiza u okruženju GIS-alata: automatskom izračunavanju površina, automatskom iscrtavanju uzdužnih i poprečnih profila, sagledavanju ekspozicije padina, izračunavanju nagiba reljefa, analizi konkavnih površina, analizi dogledanja i drugog. Prednosti navedenog načina analize je očigledna. Pre svega, prednost je u uštedi vremena, a takođe i u tačnosti dobijenih podataka.

Digitalni model terena (DMT)

Osnovni i do sada najširi primenjivani vid prikaza terena u vojne svrhe je topografska karta. Ona predstavlja bogat izvor podataka o svojstvima reljefa neophodnim za kvantitativnu i kvalitativnu vojnogeografsku analizu. Topografska karta može se javiti u dva suštinski različita vida. Prvi, konvencionalni način predstavljanja terena obuhvata prikaz reljefa izohipsama i drugi, savremeniji prikaz terena, nastao sa razvojem računarske tehnike, jeste digitalni model terena (DMT). Sam digitalni model terena može se definisati kao matematička (statistička) predstava kontinualne površi terena na osnovu velikog broja izabranih tačaka sa poznatim x , y , i z koordinatama, linija i drugih informacija prikupljenih na terenu [1]. To podrazumeva da se radi o „modelu“ terena u kojem je površ egzaktno matematički definisana i koji omogućava dobijanje vrednosti funkcionala površi u svim tačkama terena, a ne samo u tačkama u kojima su izvršena merenja. To se obično izvodi primenom neke od metoda interpolacije. Na ovako definisanom digitalnom modelu terena (DMT), korišćenjem standardnog GIS alata, moguće je izvoditi sve željene proračune: visina za datu poziciju u horizontalnom smislu, vrednost nagiba u zadatoj tački, pravac maksimalnog nagiba, krivina (zakrivljenost) površi u zadatoj tački, vizuelizacija modela terena, geostatistička analiza i drugo. Dakle, DMT predstavlja verno predstavljen matematički model površi terena koji

omogućava razne analize. Da bi se analize mogle efikasno izvoditi, imajući u vidu da se DMT sastoji od velike količine podataka, potrebna je posebna organizacija i struktura podataka. U suštini, sam proces formiranja DMT-a sastoji se iz izbora i implementacije odgovarajuće strukture i organizacije podataka i odgovarajuće metode interpolacije. Generalno, površ terena može se predstaviti na tri načina:

- izohipsama;
- volumetrijskim (zapreminskim) modelom i
- preko funkcija dve varijable.

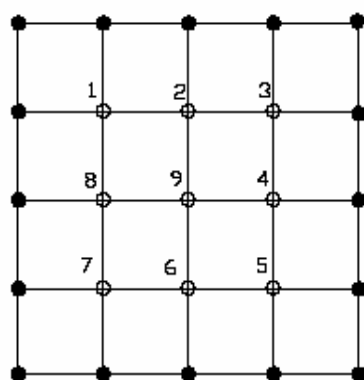
Predstavljanje terena izohipsama u digitalnom modelu, površ terena nije data eksplicitno, već je implicitno preko preseka te površi sa horizontalnim ravnima. Zato ovakav način modeliranja površi terena nije dovoljno egzaktno, jer takva struktura podataka ne omogućava egzaktno definisanje površi terena i procesiranje podataka.

Drugi način za predstavljanje površi terena jeste korišćenje volumetrijskog modela, gde se objekti prostora predstavljaju zapreminskim modelima. Jedan od tipičnih primera ovog načina realizuje se korišćenjem voksel (zapreminski element, najčešće kocke ili tetraedra) dovoljno malih dimenzija. U ovim modelima teren je predstavljen kao telo sastavljeno od skupa međusobno povezanih voksel. Treba reći da se volumetrijski modeli retko koriste za modeliranje površi terena i uglavnom su zastupljeni u medicini, geofizici i drugim sličnim disciplinama.

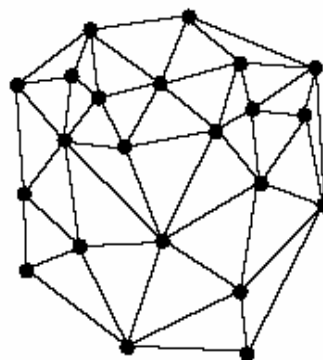
Treći i najčešći način predstavljanja površi terena u digitalnom obliku jeste korišćenje funkcije dve varijable. Najčešće su to funkcije kod kojih se za zadatak lokaciju (X i Y, ili geografsku koordinatu) dobija jednoznačna vrednost visine. U tom slučaju radi se o 2.5D (2D+1D) modelu. Modeli koji omogućavaju predstavljanje površi kod kojih se za jednu X,Y lokaciju može dobiti više visina nazivaju se 3D modeli. Kod ovih modela sve tri koordinate su potpuno ravnopravne. Funkcija kojom se modelira površina terena je, zbog izgleda same površi terena, vrlo složenog oblika. Zato se vrši deljenje površi terena na manje segmente, koje karakterišu funkcije jednostavnijeg oblika. Digitalni model terena se u tom slučaju sastoji od odgovarajuće podele reljefa na manje elemente i određivanje funkcija površi terena definisanih za te elemente. Proračun visine za neku tačku terena sastoji se u tome da se prvo odredi u koji element DMT pada tačka po svom položaju u XOY ravni, da se odrede parametri funkcije za taj element i da se sračuna visina korišćenjem zadatih parametara (koordinata) kao argumenata funkcije. Može se reći da se problem određivanja visina iz DMT, na ovaj način, svodi na problem interpolacije. Najpoznatiji i najrasprostanjeniji modeli terena su modeli površi terena zasnovani na gridnoj (rasterskoj) strukturi i digitalni modeli bazirani na TIN (Triangulated Irregular Network) strukturi podataka.

GRID (pravilna mreža) predstavlja najjednostavniji način i najčešće primenjivani način za predstavljanje površi terena. Predstavljanje terena

preko grida sastoji se u tome da se površ terena predstavi preko skupa tačaka sa poznatim visinama uređenim u pravilnu mrežu tačaka. Za razliku od običnog rasterskog formata, gde vrednost piksela prikazuje određenu boju, kod grida svaki piksel ima vrednost nadmorske visine. Prednosti ovakog načina predstavljanja terena jeste da se za manipulaciju DMT-om mogu koristiti jednostavne operacije i formati zapisa podataka koji se standardno primenjuju u oblasti GIS-a. Glavni nedostatak grida se ogleda u njegovoj neprilagođenosti za predstavljanje karakterističnih zemljišnjih objekata zadovoljavajućom tačnošću. Naime, prelomne linije terena, vododelnice, vodoslivnice, vrhovi, dna i sitni zemljišni oblici ne mogu se na ovaj način dovoljno tačno modelovati. Zato optimalni izbor veličine elemenata grida (rastera) predstavlja važan faktor koji u velikoj meri utiče na kasniju obradu podataka i kvaliteta dobijenih podataka. S obzirom na razvoj performansi računarskih komponenti ovi nedostaci grid DMT modela su sve manje izraženi (slika 1a).



a) GRID



b) TIN

Slika 1 – Struktura GRID i TIN modela terena
Figure 1– Structure of GRID and TIN terrain models

TIN pripada grupi nestruktuiranih mreža, i njihovo korišćenje za modeliranje DMT-a je veoma zastupljeno u brojnim GIS softverskim paketima. Kod ovog modeliranja površi terena čvorovi TIN-a su tačke trouglova sa poznatim visinama. Trouglovi TIN-a su međusobno povezani u kontinuitetu, tako da što bolje aproksimuju površ terena. Glavna prednost TIN strukture podataka, u odnosu na grid, jeste što se TIN vrlo lako prilagođava svim vrstama ulaznih podataka i raznim oblicima terena, dok osnovni nedostatak modeliranja TIN-a, s obzirom na nepravilnu strukturu podataka, jesu komplikovani algoritmi za obradu podataka (slika 1b).

Izbor digitalnog modela reljefa

Vojnogeografska analiza geoprostora je veoma značajna delatnost komandi, štabova, komandanata i komandira i obuhvata kompleksnu analizu tri grupe vojnogeografskih činioca: matematičko-geografskih, fizičko-geografskih i društveno-geografskih. Svaki od navedenih činioca svoj uticaj ispoljava u geoprostoru kroz elemente koji čine sadržaj brojnih geografskih pojava i vrednosti. U vojnoj analizi terena na osnovu DMT-a značajno je usaglasiti vojne zahteve analize sa tačnošću generisanog DMT. Naime, morfometrijski parametri, izračunati na osnovu DMT-a, zavise od njegove rezolucije, veličine područja i kvaliteta. Tako, vojna analiza terena sa taktičkog nivoa, s obzirom na potrebnu tačnost i detaljnost podataka, zahtevaće DMT najviše rezolucije, dok će uslove vojnogeografske analize terena sa strategijskog ili operativnog nivoa komandovanja zadovoljiti DMT srednje, pa čak i niske rezolucije. Na osnovu toga izbor rezolucije DMT u direktnoj je vezi sa potrebama i hijerarhijom komandovanja.

Rezolucija pokazuje kolika je ravnomerna (prosečna) gustina visinskih tačaka koji čine model. Što je veća njihova gustina to je model precizniji i detaljniji. Danas se u svetu koriste modeli niske, srednje, visoke i veoma visoke rezolucije (tabela 1).

Tabela 1
Table 1

Odnos rezolucije i horizontalnog rastojanja visinskih tačaka DMT
Ratio of resolution and horizontal distances of altitude points of DMT

Rezolucija	Horizontalno rastojanje visinskih tačaka	
	u metrima	u lučnim sekundama
niska	900–90	30–3
srednja	90–30	3–1
visoka	30–10	1–0,3
veoma visoka	10–1	0,3–0,03

Modeli niske, srednje rezolucije, u izuzetnim slučajevima i visoke rezolucije, u poslednje vreme mogu se slobodno preuzeti sa različitim resursima na internetu, dok su modeli visoke i veoma visoke rezolucije komercijalni (često veoma skupi), dostupni samo određenim institucijama i za određene namene.

Treba napomenuti da izbor rezolucije treba da bude u korelaciji sa veličinom analiziranog prostora, jer je korišćenje modela visoke rezolucije za velika područja, sa tehničko-hardverske, analitičke, vizuelne i grafičke strane sasvim neopravdano. Odnos optimalne rezolucije i veličine područja sa prihvatljivim odstupanjima prikazan je u tabeli 2.

Osim veličine područja koje će se analizirati, važna je i njegova konfiguracija. Tako, za homogena ravničarska područja, dovoljna je manja rezolucija digitalnog modela, dok je, obrnuto, za raščlanjene terene neopodna veća gustina visinskih tačaka.

Tabela 2
Table 2

Odnos veličine područja i optimalne rezolucije DMT-a
Ratio of size and space optimal resolution of DMT

Veličina područja (km ²)	Optimalna rezolucija DMT-a	
	u m	u lučnim sek.
1–5	3	0,1
5–50	3–6	0,1–0,2
50–100	6–15	0,2–0,5
100–500	15–30	0,5–1
500–1000	30	1
1000–10.000	30–90	1–3
10.000–100.000	90	3
> 100.000	900	30

Sledeća stvar je kvalitet digitalnog modela terena. On ukazuje na tačnost prezentovanih podataka, pokrivenost područja, odnosno postojanje praznih polja bez podataka, način interpolacije visinskih tačaka, korišćene projekcije i slično. Kvalitet modela zavisi, uglavnom, od načina kako je dobijen (laserskim snimanjem, radarskom tehnikom, stereorestitucijom, običnom digitalizacijom i drugo). Do pre nekoliko godina, za različite analize i uopšte procese vezane za vizuelno, geografsko i drugo procesiranje topografske površine korišćeni su digitalni modeli dobijeni digitalizacijom izohipsi sa topografskih karata. Razvijene i bogatije zemlje su u međuvremenu koristile veoma skupu tehnologiju laserskog, zatim GPS snimanja, avionskog, radarskog stereokodiranja i drugo. Inače, modeli dobijeni digitalizacijom izohipsi su relativno jeftin, ali nekvalitetan način formiranja DMT-a. Pre svega, u toku digitalizacije tretiraju se jedino tačke na samoj izohipsi, dok je prostor između njih nepokriven. Zato su tako generisani modeli „stepenasti“, sa naglim skokovima blizu izohipsama. Isto tako, postoje velike mogućnosti za subjektivne greške u procesu digitalizacije. Može se reći da je ovakav način kreiranja digitalnog modela još uvek dobar za mala područja, gde se može postići i veća rezolucija (korišćenjem karata i planova krupnijih od 1:25 000).

Danas se raspolaže različitim, manje ili više dostupnim, digitalnim modelima terena (DMT), koji se mogu svrsishodno upotrebiti u određenim vojno-geografskim analizama. Krajem prošlog veka na internetu je

postao dostupan globalni model kontinentalne Zemljine površine, nazvan GTOPO30, sa rezolucijom od 30" ili 900 m [9]. GTOPO30 (US Geological Survey 1997) globalni je DMR sa horizontalnom rezolucijom od 30x30 (~1x1km), koji pokriva celo područje Zemlje (širine od 90°S do 90°N i dužine od 180°W do 180°E). Ovaj model je razvijen za upotrebu na regionalnom i kontinentalnom nivou i može se iskoristiti na strategijskom nivou analize prostora ranga kontinenta ili cele Zemlje.

Slično navedenom, na internetu je dostupan Digital Terrain Elevation Data (DTED) Level 0, rezolucije 30x30 (~1x1 km), koji je razvila National Imagery and Mapping Agency (NIMA). Iako postoji više nivoa kvaliteta DTED podataka, DTED0 jedini je javno dostupan. Visine DTED0 određene su u odnosu na srednji nivo morske površine (Mean Sea Level – MSL) i datum WGS84. Ovaj digitalni model u višim nivoima tačnosti (level) ima najširu vojnu primenu u NATO. Naime, DTED1 predstavlja izvor podataka za sve vojne aktivnosti koje zahtevaju lučnu tačnost od oko 3" ili oko 100 m. Ove informacije sadrže otprilike ekvivalent tačnosti koji je zastupljen na karti razmere 1:250.000. DTED2 predstavlja kvalitetno viši nivo i osnovni izvor podataka u digitalnom obliku za sve vojne aktivnosti koje zahtevaju analizu reljefa, nagiba, nadmorske visine, hrapavosti terena i drugog. Ima najširu vojnu primenu i odlikuje se relativnom tačnošću od oko 1" ili oko 30 m, što je ekvivalent tačnosti karte razmere 1:50.000. Pored navedenih u opticaju su i nivoi DTED 3,4 i 5 koji su zastupljeniji u okviru detaljnijih analiza terena. Za distribuciju DTED ovlašćeno je Ministarstvo odbrane U. S i Vladina nacionalna agencija koja podražava rad MO u izradi digitalnih modela terena (NIMA).

Početak ovog veka, saradnjom više američkih agencija, izvedena je takozvana SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) misija. Tada je specijalna letelica za nekoliko dana sakupila radarske stereo-parove za skoro celu Zemljinu površinu. Procesiranjem tih stereo-parova, u periodu od 2000. do 2003. godine, izrađen je tačan i kvalitetan digitalni model reljefa visoke rezolucije (30 m), ali je, radi zaštite nacionalnog interesa SAD, rezolucija smanjena na 90 m i u njoj su ovi modeli slobodno plasirani na internetu. Dosadašnja iskustva i eksperimentalne provjere pokazale su da za analizu teritorije veće od 100 km², SRTM3 model pruža mogućnosti dobre kvalitetne analize topografske površine. Originalni podaci mogu se preuzeti sa NASA-inog FTP servera (koristiti verziju 2, jer se radi o filtriranim visinama) u specijalnom. hgt (height) formatu [10]. Svaki fajl sadrži podatke za površinu od 1° geografske širine i 1° geografske dužine, što za balkansko područje odgovara pravougaoniku širine 111x80 km. Geografska lokacija predstavljenog prostora sadržana je u nazivu fajla: na primer, N42E019.hgt, što znači da ovaj fajl pokriva površinu od 42° do 43° severne hemisfere i od 19° do 20° istočne geografske dužine. Tako, za skoro celu teritoriju Srbije potrebno je preuzeti 15 fajlo-

va: od N42E19 do N45E21. Svi fajlovi su u normalnoj geografskoj projekciji sa geodetskim datumom WGS84. Inače, SRTM DMR može se nabaviti i u tri puta boljoj rezoluciji od oko 30 m, ali samo za određena područja. Od januara 2008. godine, 60-metarski DEM cele EU (uključuje Srbiju, Hrvatsku i BiH) može se naručiti putem Eurogeographics [11].

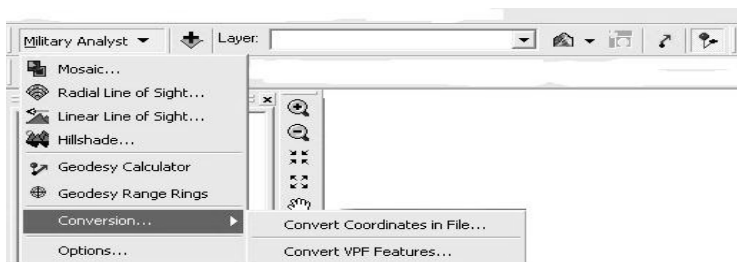
Jasno je da su za potpunije i detaljnije vojne analize terena neophodni DMT vrlo visoke rezolucije. U tom smislu, Vojnogeografski institut (VGI), u skladu sa potrebama naše države za jednim ovakvim nacionalnim projektom, završio je proces generisanja NDMT, na osnovu topografske karte razmera 1:25.000. Nacionalni digitalni model (NDMT) kreiran je digitalizacijom postojećih karata TK25, koja je u tom trenutku, iz razumljivih razloga, bila jedino racionalno i realno rešenje [8]. Na taj način izrađena je kvalitetna digitalna osnova reljefa Srbije u vidu NDMT, položajne tačnosti oko 5 m i visinske oko 2 m, koja pruža znatne mogućnosti vojne analize terena u nekom od GIS softverskih okruženja.

Metode vojne analize terena na osnovu izabranog DMT

Primena digitalnog modela terena (DMT), u vojnim analizama terena, dovela je do modifikacije metoda klasičnih vojnogeografskih morfometrijskih merenja zasnovanim na klasičnim topografskim kartografskim izvorima. Savremene GIS metode vojnih analiza terena zasnovane su prvenstveno na prostornim bazama podataka i obuhvataju čitav niz algoritama automatizovane analize terena. One se, pre svega, sprovode u cilju prikupljanju podataka iz oblasti obaveštajnog obezbeđenja ratišta [5]. Pri tome se koriste različite tehnologije prostorne analize, uključujući geografske informacijske sisteme (GIS), daljinsku detekciju i globalni pozicioni sistem (GPS). Zbog što realnije vizuelizacije analiziranog terena, najčešće se koristi metoda višekriterijumskih analiza [2], pri čemu se izdvajaju pojedini morfometrijski parametri terena, klasifikuju se s obzirom na uticaj na posmatranu pojavu, i završnom sintezom prikazuju u vidu tematskih karata. Najčešće korišćene vrednosti morfometrijskih obeležja u vojnim analizama terena odnose se na orografiju (vidljivost), nagib reljefa, ekspoziciju padina i vizuelizaciju. Navedeni parametri predstavljaju osnov vojne analize terena, te su svrstani u grupu primarnih činioca. Pored navedenih, kao dopunski parametri mogu se analizirati i složene morfološke karakteristike reljefa kao što su: dolinska mreža, prostorni raspored pojedinih konkavnih reljefnih oblika i drugo.

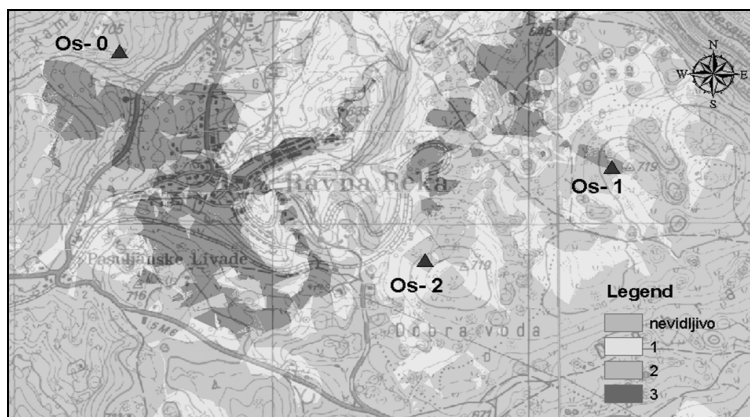
Relevantnost i tačnost analize morfometrijskih parametara, računatih na osnovu rasterskog DMT, zavisi od tačnosti i rezolucije samoga izvornog modela visina. U prikazu ovog rada korišćen je NDMT, GRID forma-

ta, generisan na osnovu izohipsa TK 25, ekvidistance 10 metara. Radi GIS analize upotrebljen je softver ArcGIS 9.2 sa ekstenzijom Military Analyst (slika 2).



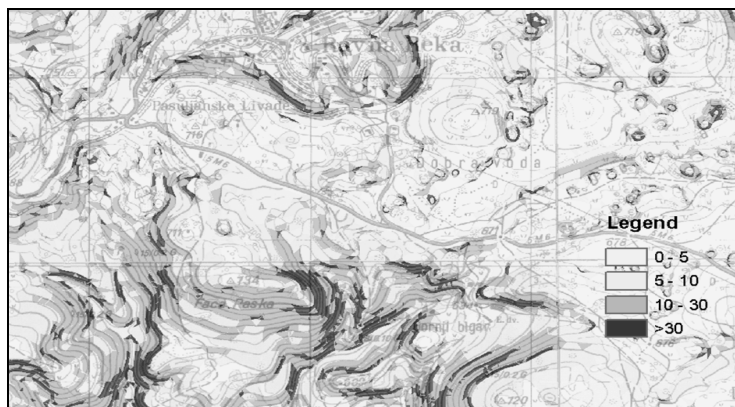
Slika 2 – Alat ekstenzije Military Analyst u okviru ArcGIS 9.2 softvera
Figure 2– Military Analyst tool extensions in the software ArcGIS 9.2

Na slici 3 prikazana je metoda određivanja vidljivosti terena, na primeru tri moguće osmatračnice, kroz analizu optičke vidljivosti okolnog prostora i neposrednog dogledanja izabranih tačaka. Analiza vidljivosti izvedena je algoritmom Radial line of Sight ekstenzije Military Analyst ArcGIS programskog paketa. Kroz ovaj algoritam izračunat je novi rasterski GRID sloj čija vrednost pojedine ćelije definiše broj vrhova (potencijalnih osmatračnica) sa kojih je ta tačka (ćelija) vidljiva. Tako svaka ćelija može teorijski imati vrednost između 0 (tačka nije vidljiva ni sa jedne osmatračnice) i 3 (tačka je vidljiva sa svih osmatračnica). Na taj način, jasno su diferencirani delovi analiziranog terena u odnosu prema njihovim maskirnim mogućnostima i prikriivenom kretanju jedinica.



Slika 3 – Analiza vidljivosti terena na osnovu DMT (Arc Gis 9.2)
Figure 3 – Visibility analysis based on the DTM (ArcGIS 9.2)

Analiza nagiba padina terena na osnovu visinskih podataka DMT, u vezi je sa određivanjem tenkoprohodnosti terena. Tenkoprohodnost je jedna od najznačajnijih funkcija koju uslovljava reljef terena. Pri sagledavanju tenkoprohodnosti mogu se izdvojiti određene varijante: do 5° nagiba zemljište je tenkoprohodno; $5\text{--}10^\circ$ nagiba zemljište je ograničeno tenkoprohodno; $10\text{--}30^\circ$ nagiba zemljište je jako ograničeno tenkoprohodno i preko 30° nagiba zemljište je tenkoneprohodno [7]. Na osnovu toga moguće je dati odgovore na sledeća pitanja: da li je analizirani teren tenkoprohodan i u kojoj varijanti; koje su tenkoprohodne zone i njihov značaj (pravac protezanja, prirodni otvori, suženja prevoji); koje su kotline i njihov značaj; koji su zaravnjeni delovi i njihov značaj, i drugo. Računanje nagiba definisano je maksimalnom komparacijom vrednosti visina između središnje ćelije i okružujućih susednih ćelija. Iako postoji veći broj algoritama za određivanje nagiba padina, većina ih je bazirana na izračunavanju derivacija prvog reda vrednosti unutar kvadrata 3×3 . Ova metoda uključena je u slope ArcGis algoritam računanja nagiba padina i prikazana je na slici 4.

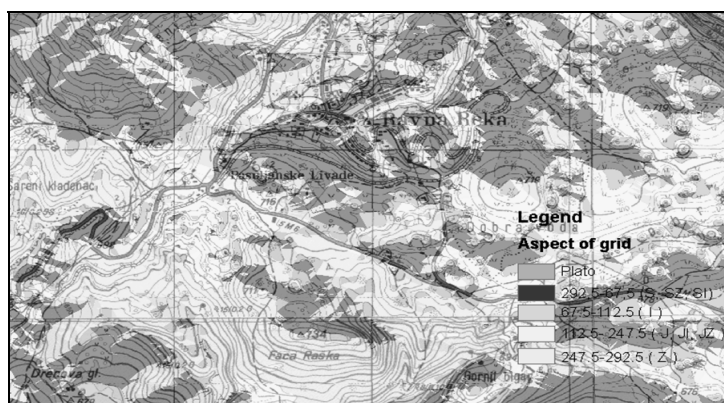


Slika 4 – Analiza nagiba padina na osnovu DMT (ArcGis 9.2)
Figure 4 – Analysis of slopes based on the DTM (ArcGIS 9.2)

Analiza ekspozicija padina u smeru najvećeg nagiba obuhvata njihovu orijentaciju s obzirom na strane sveta. Pri tome se ugao određuje najčešće od pravca severa u smeru kazaljke na satu. Uloga orijentacije padina u odnosu na strane sveta, prilikom vojne analize terena, ima značaj kada nam je poznata taktička orijentacija koja uključuje poznavanje rasporeda naših u odnosu na protivničke snage. Geografskim definisanjem položaja protivnika i analizom orijentacije padina u odnosu na strane sveta, moguće je odrediti padine koje su otvorene, zaklonjene ili okrenute bočno u odnosu na snage protivnika.

Na slici 5 određene su vrednosti ekspozicija padina analiziranog područja prema rasponu azimuta glavnih i pomoćnih strana sveta. Analiza je izvedena algoritmom Hillshade Military Analyst ArcGIS programskog pake-

ta. Kroz ovaj algoritam bonitetna vrednost pojedinih ekspozicija padina definisana je položajem protivničkih i vlastitih snaga, gde su snage protivnika smeštene u smeru severa, a vlastite u smeru juga. Na taj način, analizirani teren je višeslojno diferenciran na delove koji su orijentisani prema protivniku (S, SI, SZ - nijanse tamne), prema vlastitim snagama (J, JI, JZ – nijanse svetle) i na zaravnjene delove (siva), odnosno padine orijentisane bočno u odnosu i na naše i na protivničke snage (Z, I – siva).



Slika 5 – Analiza orijentacije padina (ArcGis 9.2)
Figure 5 – Analysis of the orientation of slopes (ArcGIS 9.2)

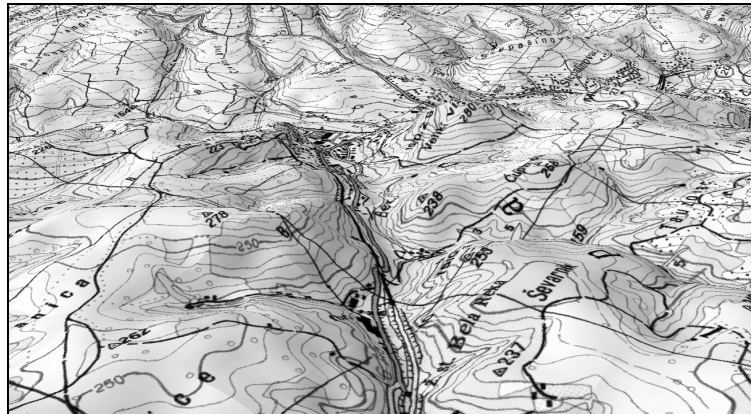
Pored navedenih elemenata vojne analize terena na osnovu DMT, trodimenzionalnim prikazom prostora otvaraju se široke mogućnosti da se različiti podaci plastično prikažu u prostoru. Naime, posebni GIS alati za generisanje reljefa omogućavaju prikaz istraživanog područja simuliranjem njihovog prirodnog izgleda zajedno sa svim ili izabranim objektima na terenu. Preko trodimenzionalnog modela terena može se postaviti jedna ili više rasterskih slika ili drugih topografskih podloga, kao što su satelitski ili aerofoto snimci. Na taj način dobija se pregledni blok-dijagram koji ilustruje stvarni izgled terena, karakteristike i oblike reljefa uz istovremeni prikaz reljefnih odnosa. Iste mogućnosti su otvorene za sve druge vrste podataka vezane za geografski informacioni sistem (vegetacija, pedologija, hidrografija, komunikacije i drugo). Na slici 6 prikazan je plastični prikaz reljefa razmatranog geoprostora preko kojeg je postavljena rasterska topografska podloga u vidu TK25, a na slici 7 u vidu ortofoto-snimka.

Vizuelizacijom digitalnog modela terena moguće je sagledati [4, 12, 13]:

- koliko geoprostora zauzima nizijski i ravničarski reljef i koji se dodatni reljefni oblici javljaju u ravničarskim delovima (uzvišenja, brežuljci, humke);
- koliko geoprostora zauzimaju brda. Moguće je sagledati fizička svojstva brdskog reljefa, kolike su nadmorske visine, koliki je nagib strana i koje su ostale prepreke na takvom prostoru;

– koliko geoprostora zauzima manevarsko zemljište, koje čine nizijski i brdski reljef i na taj način uočiti prostor koji je povoljan za kretanje, pregrupisanje snaga, upotrebu svih rodova KoV izvan komunikacija i upotrebu vazdušnih desanata;

– koliko geoprostora zauzima planinsko zemljište. U okviru njega sagledati koja su značajnija reljefna suženja, klisure, tesnaci, kanjoni, planinski prevoji, prirodni otvori i povezivanjem sa prethodno skladištenim podacima sagledati njihove karakteristike, veličinu i značaj. Moguće je utvrditi kakva je ispresecanost zemljišta, koje se prirodne prepreke javljaju i odrediti njihov vojnogeografski značaj, i drugo



Slika 6 – Vizuelizacija DMT preklapljenog sa TK25 (ArcGis 9.2)

Figure 6 – Visualization of the DTM covered with a TK25 (ArcGIS 9.2)



Slika 7 – Vizuelizacija DMT preklapljenog ortofoto-snimkom (ArcGis 9.2)

Figure 7 – Visualization of the DTM covered with an orthophoto map (ArcGIS 9.2)

Zaključak

Geografski informacijski sistemi su jedna od najperspektivnijih informacijskih tehnologija današnjice s obzirom na široki spektar mogućnosti i područja njihove primene. Naročito je izražen njihov vojni značaj, pored ostalog, i u vidu izrade i analize digitalnih modela terena. Digitalni modeli terena (DMT) omogućavaju povezivanje podataka sadržanih u tekstualnim bazama podataka za jedinačne ili grupne elemente slike terena i istovremeno predstavljaju osnovu trodimenzionalnih prikaza terena, odnosno njihovu vizuelizaciju u vidu rasterskih ili vektorskih slojeva.

Može se zaključiti da je danas nezamislivo vršiti vojnogeografsku analizu geografskih činioca bez GIS-a. Zamenom klasičnih analognih izvora podataka digitalnim, zasnovanih na digitalnom modelu terena, sa primenom algoritama za računanje pojedinih parametara morfometrijske analize, znatno je ubrzan proces vojne analize terena. Međutim, prednost DMT-a u vojnoj analizi terena nije samo u uštedi sredstava i vremena, već i u mogućnosti da se teren kompleksnije i kvalitetnije vojnogeografski sagleda, što predstavlja bitan uslov za donošenje pravilnih odluka pri izvršavanju različitih zadataka.

Literatura

- [1] Borisov, M., Sekulović, D., Banković, R.: Digitalni modeli terena i njihova primena u vojsci, OTEH 2005, Beograd, 2005.
- [2] Friend, A.: Environmental Analysis in Support of the Military Commander, Sixth International Conference on Military Geology and Geography, Nottingham, 2005.
- [3] Esri: Using ArcGIS 3D Analyst, Environmental Systems Research Institute, Inc. 1999.
- [4] Gigović, Lj., Sekulović, D.: Vojnogeografska analiza reljefa primenom GIS tehnologije, DQM, Beograd, 2008.
- [5] Grindle, C., Lewis, M., Ginton, R., Giampapa, J., Owens, S.: Automating Terrain Analysis: Algorithms for Intelligence Preparation of the Battlefield, Proceeding of the Human Factor and Ergonomics Society, 2004.
- [6] Guth, P.: Challenges for Military Application of High Resolution DEMs, Sixth International Conference on Military Geology and Geography, June 2005, Nottingham, 2005.
- [7] Marijanović, R.: Opšta vojna geografija, VIZ, Beograd, 1983.
- [8] Sekulović, D., Borisov, M., Banković, R.: Nacionalni digitalni model terena generisan na osnovu TK25, SIM-OP-IS, Beograd, 2006.
- [9] URL 1: <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>
- [10] URL 2: <ftp://e0srp01u.esc.nasa.gov/srtm/>
- [11] URL 3: <http://www.eurogeographics.org/eng/EuroDEM.asp>
- [12] Regodić, M.: Daljinska detekcija kao metod prikupljanja podataka o prostoru, Vojnotehnički glasnik br. 1/2008, str. 70–88, Beograd, ISSN: 0042–8469.
- [13] Regodić, M.: Važniji satelitski programi sistemskog snimanja zemlje, Vojnotehnički glasnik br. 4/2008, str. 91–112, Beograd, ISSN: 0042–8469.

DIGITAL MODELS OF HEIGHTS AND MILITARY APPLICATION FOR TERRAIN ANALYSIS

Summary

Digital terrain model

The Digital Terrain Model (DTM) is nowadays defined as a modern method for presenting heights of land and relief shapes. It has emerged with the development of computer technology and is the basis of modern geographic information systems. The DTM is a mathematical model of a large number of points on the surface of terrain where it is possible to perform various mathematical analyses. According to its organization structure, the best known and the most frequently applied models of terrain are models of surface terrain based on the grid (raster) structure and digital models based on the TIN (Triangulated Irregular Network) data structures.

How to select an appropriate digital terrain model

While taking military analysis of a terrain using the DTM, it is very important to harmonize military requirements of the estimation with accuracy, i. e. with the resolution of the generated DTM. For this reason, the choice of resolution should be correlated with the size of the analyzed space and its configuration. Thus, a military analysis of a terrain on tactical level, with regard to the required accuracy and detailed data, will require a DTM of the highest resolution, while the need of a military geographic analysis of the terrain on strategic or operational commanding level meets a DTM of medium and even low resolution. Models of low, medium and, in some cases, high resolution, can be downloaded for free from the Internet (GTO-PO30, SRTM3), while models of high and very high resolution are only available to certain institutions and for certain purposes.

Methods for military analysis of terrain based on a selected DTM

Modern methods for the military geographic analysis of terrain based on the DTM include a huge range of automated analysis algorithms. The most frequently used is the method of multiple criteria analysis, in which some morphometric parameters of the field are allocated, classified and shown by a final synthesis as thematic maps. To properly present this work, we used the NDTM 25 of the GRID format, equidistance of 10 meters, which was created by the Military Geographic Institute (MGI). The GIS analysis was taken by ArcGIS 9.2 software with Military Analyst and 3D Analyst extensions. The used values of the DTM morphometric parameters are related to the analysis of visibility, slope of ground, exposition aspect of slopes and visualization. Due to a practical application through the algorithmic analysis of relief morphometric parameters, a qualitatively new way of recognition and understanding spatial relationships and relief attributes was enabled, thus providing a more qualitative, faster and more rational analysis of terrain.

Key words: Digital terrain model, GIS technology, military-geographical analysis.

Datum prijema članka: 23. 01. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 30. 09. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 02. 10. 2009.