

UDK 004.6:528.92
Stručni rad

VIZUELIZACIJA 3D MODELA GEOPODATAKA I NJIHOVA PRIMJENA

VISUALISATION OF THE 3D GEODATA MODELS AND THEIR APPLICATION

Mirko Borisov, Vladimir M. Petrović, Milivoj Vulić

SAŽETAK

U radu se opisuju 3D modeli geopodataka i njihova primjena. Na geodetskim planovima i topografskim kartama najčešće se primjenjuju metode prikaza terena (reljefa) pomoću kota i izohipsi. Međutim, sa pojavom novih tehnologija mijenja se način vizualizacije i naglašava koncept 3D modela geopodataka. Pritom, koriste se različiti pojmovi: digitalni model visina (DMV), digitalni model terena (DMT), digitalni model površi (DMP) i drugo. Infrastruktura i 3D modeli geopodataka su standardizovani, ali se vizualizacija i detaljnost sadržaja mijenja i usklađuje prema namjeni i razmjeri prikaza. Primjena 3D modela geopodataka u digitalnom obliku (raster ili vektor) postaje sve više aktuelna i putem interneta. Zato je važno razlikovati navedene pojmove i odlike 3D modela geopodataka kao i mogućnosti njihove primjene.

Ključne riječi: vizualizacija 3D modela, DMV, DMT, DMP, primjena.

ABSTRACT

This paper describes the 3D geodata models and their application. On geodetic plans and topographic maps commonly applied methods of terrain (relief) by spots elevation and contour lines. However, with the advent of new technologies the way of the visualisation is changing and highlights the concept 3D geodata model. Namely, there are different concepts: digital elevation model (DEM), digital terrain model (DTM), digital surface model (DSP) and so on. Infrastructure and 3D geodata models are standardized, while the visualization and details of information change and adjust the needs and aspect ratio display. Application of 3D geodata models in digital format (raster or vector) is becoming increasingly topical over the internet. Therefore, it is important to distinguish between certain concepts and features of 3D geodata models and the possibility of their application.

Keywords: visualisation of 3D model, DEM, DTM, DSM, application.

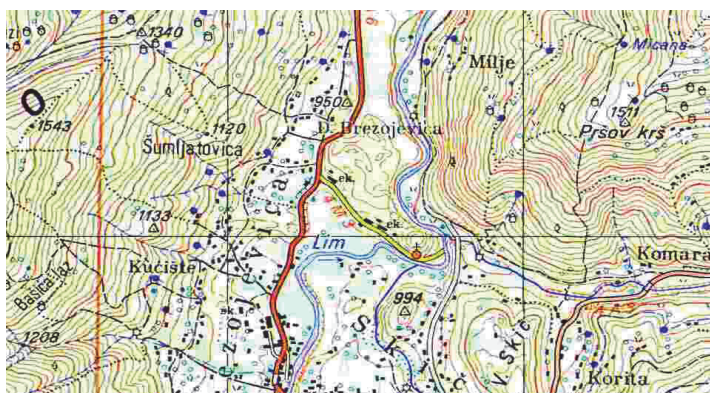
1. UVOD

Odavno postoji težnja da se pri vizualizaciji (kartografisanju) površi Zemlje na konvencionalnim geodetsko-kartografskim podlogama prikaže i treća dimenzija. To je, sa različitim uspjehom, činjeno šrafiranjem, sjenčenjem, konstrukcijom izohipsi, kreiranjem hipsometrijske skale ili izradom reljefnih karata. Međutim, sa pojavom novih tehnologija i njihovom primjenom sve se znatno promijenilo. Prikupljanje i modeliranje podataka o prostoru obavlja se savremenim metodama i tehnologijama. Prije svega, to su geoinformacioni sistemi i GPS premjer, digitalizacija planova i topografskih karata, a u posljednje vrijeme digitalna fotogrametrija i lasersko skeniranje terena i objekata (Mulahusić i dr., 2013).

Predmet ovog rada su 3D modeli geopodataka, odnosno vizualizacija visinske predstave terena u analognom (klasičnom) i digitalnom obliku, a cilj da se sagledaju međusobne pojmovne razlike i potencijalne mogućnosti u primjeni. Kreiranje 3D modela geopodataka izvodi se korištenjem tehnologije digitalnog modeliranja terena. Pritom, digitalno modeliranje terena obuhvata čitav niz aktivnosti koje se odnose na akviziciju i obradu, izradu odgovarajućih struktura i kreiranje modela geopodataka, kao i aspektima korištenja u različitim oblastima (Govedarica i dr., 2008).

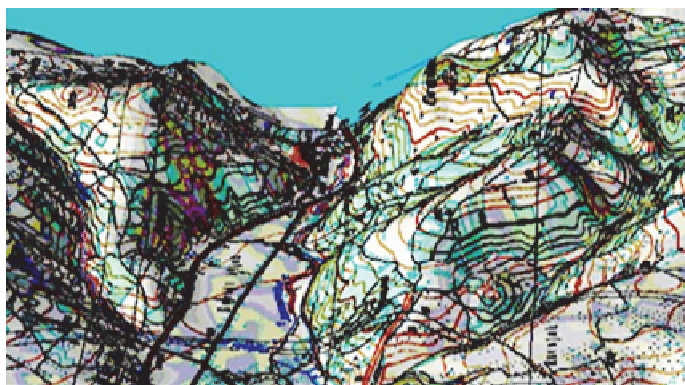
2. PRIKAZ TERENA NA TOPOGRAFSKIM KARTAMA

Prikaz treće dimenzije na geografskim kartama činjeno je raznim metodama i sa različitim uspjehom. Pri izradi topografskih karata najčešće je primjenjivana geometrijska metoda prikaza reljefa, odnosno izohipsama i ispisivanjem kota, a visinska predstava terena se odnosila na ortometrijske visine (visine iznad površi geoida). Naime, prikaz terena treba da obezbijedi stvaranje realnog prostornog utiska o oblicima neravnina, o rasporedu pojedinih oblika i njihovim vezama, o karakteru i stepenu raščlanjenosti površi Zemlje i mogućnost kvantitativne i kvalitativne ocjene reljefa. Također, da se sa karte mogu odrediti horizontalne konture oblika reljefa i položajne koordinate svake tačke, apsolutne i relativne visine svih tačaka reljefa, pravac i strmina nagiba na svakoj tački, kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1: Prikaz terena na topografskim kartama

Pored izohipsi kao glavnog nosioca metričkih informacija, topografske karte sadrže i druge kvalitativne i kvantitativne detalje. Preko simbola i drugih elemenata kartografskog izražavanja prikazuju se karakteristični zemljišni oblici: vrtače, uočljivi pregibi, humke i udoline u ravninama, udubljenja sa zasjenčenim stranama u ravničarskom zemljištu, usamljene stijene, stjenoviti usjek, šljunkoviti ili zemljani nasip i točila, kamenito tlo, manje i veće jaruge, vododerine, mrežaste i rebraste škarpe i slojevi, stjenoviti grebenski oblici, stijene, plazine, lednici itd. Ove pojave se na topografskoj karti prikazuju izohipsama ako to dozvoljava razmjera karte. U suprotnom, prikazuju se šrafama-crticama, primjenom manjih i većih tačaka, ili uslovnim znakom iz topografsko-kartografskog ključa, ako se radi o oblicima koji se dobro uočavaju na zemljištu, ali se zbog veličine ne mogu drugačije prikazati (RGZ, 2012).



Slika 2: Izgled reljefne karte

Predstavljanje površi terena korištenjem senki i hipsometrijskih skala se i danas zadržalo, s tom razlikom da se takvi načini prikaza površi Zemlje danas često kombinuju sa trodimenzionalnim, perspektivnim prikazom reljefa. Fizički modeli terena se izrađuju u vidu maketa od čvrstih materijala, kao što su plastika, guma, gips, glina i slično. Na slici 2, dat je izgled reljefne karte. Za izradu reljefnih topografskih karata koriste se specifične tehnološke procedure i tehnička oprema (kreiranje reljefnih modela od gipsa, štampanje na plastiku, vakumiranje odštampanih plastičnih predložaka). Za razliku od papirnatih topografskih karata, reljefni kartografski modeli imaju veću praktičnu primjenu kod prikaza i uočavanja geomorfoloških oblika Zemlje.

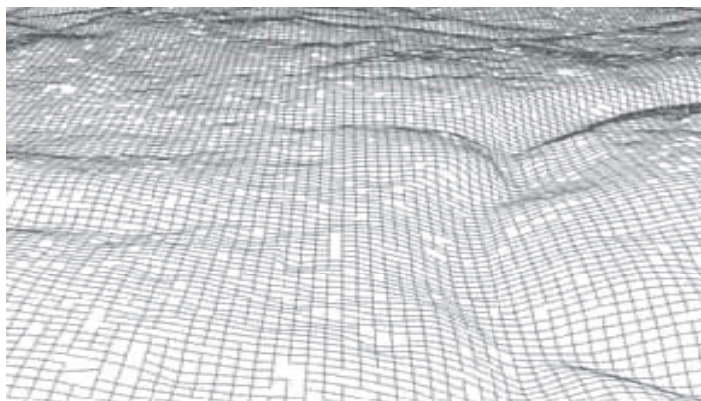
3. VIZUALIZACIJA 3D MODELA PODATAKA U GIS OKRUŽENJU

Uvođenje samog termina digitalno modeliranje geopodataka, odnosno digitalno modeliranje terena pripisuje se dvojici američkih inženjera sa Instituta za tehnologiju Masačusets. Definicija koju su oni dali pedesetih godina prošlog vijeka glasi (ESRI, 2010): “Digitalni model terena - DMT (u originalu *Digital Terrain Model* - DTM) je statistička predstava kontinuirane površi zemljišta preko velikog broja izabranih tačaka sa poznatim X , Y i Z koordinatama u proizvoljnom koordinatnom sistemu”. U stranoj literaturi od tada u upotrebi je više sličnih termina i definicija. Neki od njih se odnose na iste i slične koncepte, dok se neki značajno razlikuju, pa o tome treba voditi računa (Li i dr., 2005). Pritom, u praksi se najčešće sreću sljedeći nazivi:

- digitalni model visina;

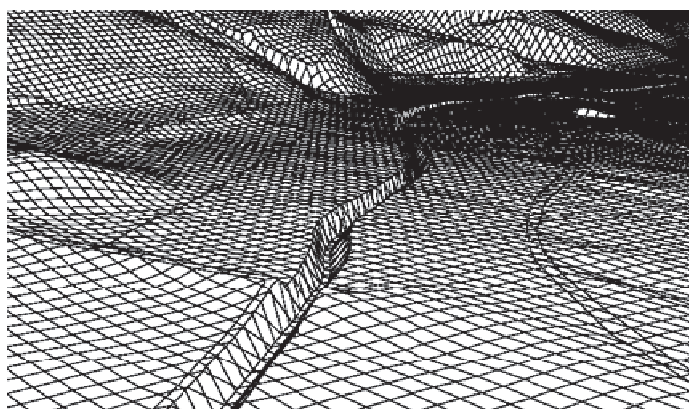
- digitalni model terena; i
- digitalni model površi.

Digitalni model visina - DMV (na engleskom: *Digital Elevation Model* – DEM) ili rjeđe *Digital Height Model* – DHM, naziv koji vodi porijeklo sa njemačkog govornog područja, a koji se po pravilu odnosi na sistem visina u pravilnoj mreži tačaka. To je pravougaoni raster ili matrica ćelija koja prekriva određenu površ terena kao što je na slici 3.



Slika 3: Digitalni model visina (VGI, 2010)

Digitalni model terena - DMT (na engleskom: *Digital Terrain Model* - DTM), koji predstavlja složeniji i sveobuhvatniji koncept i koji uključuje ne samo visine tačaka, već i druge odlike terena (prekidne i strukturne linije, karakteristične tačke). Na slici 4, prikazan je DMT. Pored toga, DMT može sadržati i druge izvedene informacije kao što su nagibi, vidljivost, itd.



Slika 4: Digitalni model terena (VGI, 2010)

U užem smislu DMT predstavlja reljef terena, dok u širem značenju može da obuhvati i objekte i pojave koji se nalaze na datoj površi. U ovom slučaju to je digitalni model površi - DMP (na engleskom: *Digital Surface Model* - DSM). Za razliku od prethodna dva termina koji se odnose

na “golu“ površ terena, DMP uključuje i puteve, hidrografiju, vegetaciju, ali i druge objekte koji su neposredno na samoj površi terena. Digitalni model površi je prikazan na slici 5.



Slika 5: Digitalni model površi (VGI, 2010)

U literaturi se mogu naći i drugi termini 3D modela geopodataka (Li i dr., 2005). Jedan od njih je DTED (engl. *Digital Terrain Elevation Data*), koji koristi za svoje proizvode Nacionalna Geoprostorna obavještajna agencija SAD (engl. *National Geospatial-Intelligence Agency* – NGA, tj. stari naziv: *National Imaging and Mapping Agency* - NIMA).

Imajući u vidu širu primjenu termina 3D modela, danas se najčešće koristi pojam DMT. Prema načinu na koji se kreiraju i dobivaju DMT, oni mogu imati izvornu i izvedenu strukturu i formu prikaza podataka (Li i dr., 2005). Na nivou izvornih podataka DMT obuhvata:

- masovne tačke (obične tačke koje imaju poznatu visinu);
- karakteristične tačke (vrhovi, sedla, prevoji, vrtače);
- kontrolne tačke (geodetske tačke tj. trigonometrijske tačke i kote);
- strukturne linije terena (padne i prevojne linije, vododijelnice i vodoslivnice);
- prelomne (prekidne) linije duž kojih se teren lomi u vertikalnom smislu; i
- karakteristične površi (vodena ogledala, stjenjaci, kamenolomi).

Osnovne i masovne tačke moraju se međusobno dopunjavati, tako da pružaju cjeloviti prikaz reljefa. Po pravilu, ravničarski tereni, sa blagim nagibom i krupnijim zemljišnim oblicima, imat će manji broj visinskih tačaka od ispresijecanih vidova terena koji obiluju sitnim formama reljefa. Visinske tačke u ravninama i blago nagnutim površima trebalo bi da budu ravnomjerno raspoređene po čitavoj površi. Također, trebalo bi težiti ravnomjernom rasporedu visinskih tačaka na svim dijelovima teritorije. Posebno bi valjalo voditi računa da se za visinsko predstavljanje terena biraju najviši i najniži dijelovi terena (vrhovi, prevoji, kotline), sastavi rijeka, raskrsnice puteva, mostovi i važnije tačke vododijelnice. Pri tom ne smije ostati veća prirodna cjelina bez visinskih tačaka, kao što su grebenske linije, veće zaravni ili padine i vodeni tokovi.

Izvedeni DMT predstavlja transformaciju svih informacija sadržanih u izvornom skupu podataka, odnosno u njihovoj strukturi koja je raspoloživa za opis visinske predstave površi Zemlje, sa određenom degradacijom kvaliteta (Govedarica i dr., 2008). Za visinsko predstavljanje zemljišta kod izvedenog digitalnog modeliranja terena koriste se dva načina:

- razbijanje područja interpolacije na pravilnu mrežu (GRID); i

- razbijanje područja interpolacije na mrežu nepreklopnih trouglova (TIN - *Triangulated Irregular Network*).

Organizovanje podataka DMT na bazi pravilne mreže tačaka (GRID), predstavlja najjednostavniji način modeliranja površi terena. Mreža se obično sastoji od kvadrata čija tjemena predstavljaju tačke sa poznatim visinama, ali postoje i rešenja koja su zasnovana na mrežama sa pravougaonicima, pravilnim trouglovima ili šestougaonicima. Međutim, javlja se problem izbora optimalne gustine tačaka, tj. rezolucija za model GRID. Tako je ona za pojedine dijelove terena nepotrebno velika, dok je u drugima nedovoljna da bi se predstavili sitniji zemljišni oblici. Rešenje koje se kod nekih sistema koristi za prevazilaženje tog problema, zasniva se na korištenju modela GRID promjenljive veličine. Podaci se organizuju po hijerarhijskom principu, tako da se na najvišem nivou nalazi najkrupniji, a na najnižem najsitniji GRID (Frančula, 2001).

Dodatni problem kod takvih DMT jeste (osim u slučajevima digitalne fotogrametrijske restitucije), što se ne raspolaže visinama mjenjenim neposredno u tačkama koje čine model GRID. Nedostatak u tom slučaju predstavlja to što se za proračun koriste interpolovane, a ne direktno mjerene (izvorne) visine. To može uticati na generalnu (opštu) tačnost DMT. Glavna prednost takvog pristupa jeste jednostavna struktura podataka koja omogućava brze prostorne operacije nad elementima u modelu GRID. Istovremeno, postoje znatne uštede u memoriji, jer za tačke u modelu GRID nije potrebno čuvati sve podatke. Naime, u bazi DMT nalaze se osnovni podaci o elementima: koordinate početne tačke, dimenzije GRID modela, broj redova i kolona, rotacija mreže, te drugi relevantni podaci. Pošto je površ terena praktično predstavljena jednom matricom tačaka, posebnu topologiju, tj. podatke o prostornim vezama između pojedinih elemenata u modelu GRID, nije potrebno održavati, jer ona proizlazi iz pravilnog rasporeda tačaka mreže. Međutim, za čuvanje karakterističnih tačaka i linija terena, potrebno je uvođenje dodatne topologije.

Suština pristupa kod modela TIN jeste da se površ terena diskretizuje prostornim nepreklopnim trouglovima. Tjemena trouglova, koja su u opštem slučaju nepravilnog oblika, jesu tačke sa poznatim visinama, odnosno rezultat neposrednih mjerenja. Uz poznate koordinate tačaka trouglova, u TIN se mogu jednostavno ugraditi i druge neophodne informacije, kao što su karakteristične linije terena i površi sa posebnim značenjem (zaravni, stjenjaci i drugo), pa se njegova osnovna struktura podataka smatra fleksibilnijom. Sve donedavno vodila se žučna rasprava o prednostima i manama između modela GRID i TIN, da bi se na kraju zaključilo da najbolje rezultate daje kombinacija oba modela (Frančula, 2001). Poređenje ta dva osnovna tipa modela (organizacije) podataka pokazuje da:

- tačke u GRID imaju jednostavnu strukturu podataka, a u TIN vrlo komplikovanu;
- vrijeme pristupa u GRID do određenih elemenata mnogo je manje nego u TIN;
- količina podataka u GRID je manja nego u TIN;
- model visina u TIN mnogo bolje (vjernije) predstavlja reljef nego li GRID; i
- pri nehomogenoj podjeli površi TIN je podložniji promjeni nego GRID.

Dakle, DMT kao statistička predstava kontinuirane površi Zemlje, prema načinu na koji čuva podatke o visinama, može imati dva oblika. U prvom slučaju, tačke su raspoređene u obliku pravilne rešetke i predstavljaju GRID. Drugi način je zasnovan na mreži nepravilnih trouglova, odnosno TIN, gdje tačke sa tri prostorne koordinate čine mrežu trouglova koji se ne smiju preklapati. I jedna i druga struktura (forma organizacije) podataka predstavlja izvedeni prikaz DMT.

4. PRIMENA 3D MODELA I ANALIZA GEOPROSTORA

Zahvaljujući različitim metodama strukturiranja i interpolacije podataka opisanih u prethodnom poglavlju i njihovoga prikaza moguće je dobiti vjerodostojan model koji najbolje može predstaviti određeni skup prostornih podataka (Pribičević i dr., 2010). Kreiranje i vizualizacija 3D modela geopodataka u digitalnoj formi omogućava brojne analize geoprostora. Modeli visinske predstave terena su u funkciji razmjere, tj. zavise od rezolucije izvora podataka, od broja i pravilnog izbora tačaka, kao i načina i vjernosti prikaza terena. U radu su opisane određene standardne analize i praktični primjeri koji su realizovani u softverskom okruženju ArcGIS (ESRI, 2010) ili su preuzeti iz drugih referenci navedenih u literaturi:

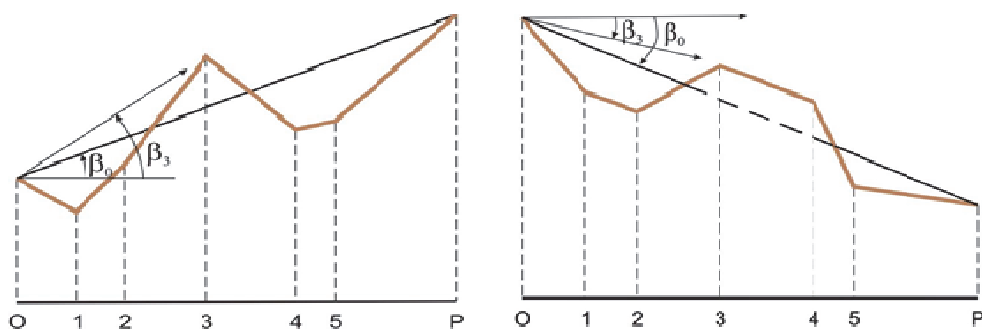
- dogledanje na površi terena (vidljivost sa određene pozicije, vizualizacija geoprostora);
- određivanje optimalnog položaja primopredajnika za potrebe radiorelejnih uređaja i TV stanica;
- projektovanje i izvođenje radova na površi terena (građevinarstvo, energetika, saobraćaj);
- računanje zapremine (kubatura zemljanih masa ili konstruisanje profila između tačaka);
- simulacija i 3D animacije (izrada perspektivnih prikaza terena, urbanizam, ekologija);
- hidrološka analiza (modeliranje poplava i oticanje, proračun drenažnih mreža, delineacija slivova);
- geomorfološka analiza i klasifikacija tla (nagib i ekspozicija terena, poljoprivreda, i drugo).

4.1. Vidljivost između dva položaja na površi Zemlje

U praksi je često potrebno utvrditi vidljivost između položaja dvije tačke na površi Zemlje. Na primjer, pri izboru mjesta za izgradnju televizijskih odašiljača i repetitora poželjno je izabrati optimalan položaj. Tematski prikaz vidljivosti upravo, omogućava da se uoče područja koja se iz određene tačke posmatranja vide, a koja ne. Dijelovi koji se vide obično se izvlače punom linijom, a na dijelovima koji se ne vide linija se prekida. To je vrlo mukotrpan i dugotrajan posao u klasičnoj proceduri rada. Također, kvalitet rezultata zavisi od razmjera geodetskog plana ili topografske karte, ekvidistanciji izohipsa i njihovoj tačnosti, gustini profila i tačnosti njihove izrade, ali i od edukacije osobe koja očitava visine sa date geodetsko-kartografske podloge.

4.1.1. Uticaj reljefnosti površi Zemlje na vidljivost između dvije tačke

Analiza vidljivosti između dvije tačke na površi Zemlje može se znatno ubrzati ako raspoložemo 3D modelima i odgovarajućim novim tehnologijama. Naime, svaka vidljiva tačka označuje se sa 1, a nevidljiva sa 0. Tako nastaje datoteka spremna za dalju analitičku i grafičku obradu, odnosno vidljivost između dvije lokacije na površi Zemlje. Na primjer, neka je O tačka posmatranja čije su koordinate x_0 , y_0 i visina h_0 zadane. Treba odrediti da li je tačka označena sa P vidljiva iz tačke O . Presjekom pravca kroz tačke O i P s pravcima paralelnim sa osama x i y dobivaju se koordinate međutačaka od 1 do 5. Visine tih tačaka dobiju se interpolacijom između susjednih tačaka 3D modela prikazanog na slici 6 (Frančula, 2001).

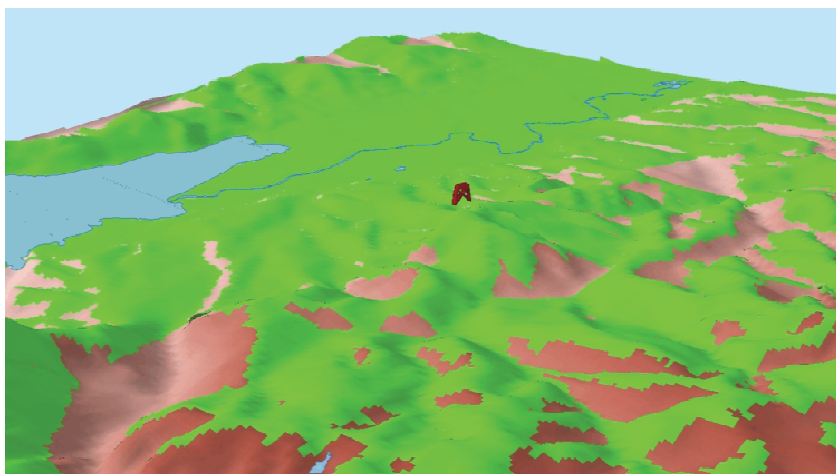


Slika 6: Vidljivost tačaka O i P ako je $h_0 < h_p$ ili ako je $h_0 > h_p$

U daljem postupku provjerava se da li su visine svih međutačaka manje od visina O i P . Ako jesu, vidljivost između tačaka O i P postoji. Međutim, ako je visina bar jedne tačke veća od visina O i P , vidljivost ne postoji. Također, ako ni jedan od ta dva uslova nije ispunjen, onda se računa tangens ugla β_0 od tačke O na tačku P , odnosno po formuli:

$$\tan \beta_0 = \frac{h_p - h_0}{\sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2}} \quad (1)$$

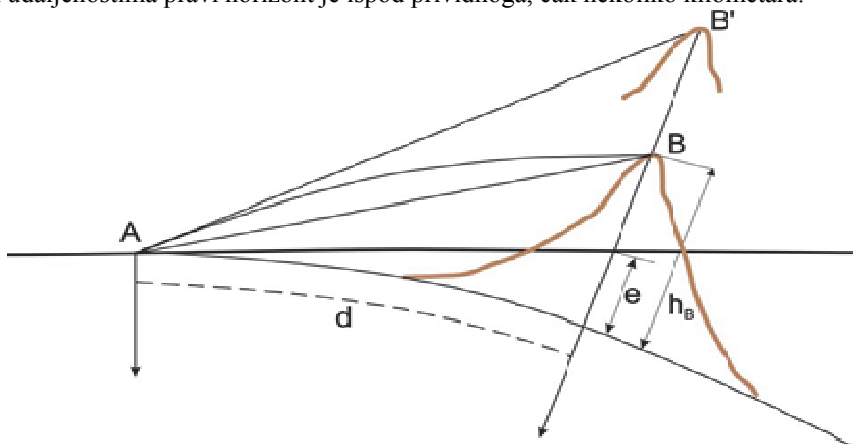
Na slici 7, prikazan je slučaj gdje se sa izabranog položaja (tačke) ostvaruje dogledanje tj. vidljivost određenih dijelova teritorije koje su označene svjetlijom bojom i dijelovi gdje nema dogledanja označeno je tamnijom bojom.



Slika 7: Dijelovi terena koji se vide ili ne vide sa određenog položaja

4.1.2. Uticaj zakrivljenosti površi Zemlje površi na vidljivost između dvije tačke

Prethodna razmatranja vrijede za relativno kratke udaljenosti na terenu. Međutim, za veće udaljenosti treba uzeti u obzir uticaj zakrivljenosti površi Zemlje, kao i uticaj refrakcije. Naime, na velikim udaljenostima pravi horizont je ispod prividnoga, čak nekoliko kilometara.



Slika 8: Uticaj zakrivljenosti Zemlje i refrakcije na vidljivost tačke B

Na slici 8, ako iz tačke A posmatramo tačku B, dio visine h_B je ispod horizonta. Taj dio ispod horizonta označen je sa e , a njegova približna vrijednost računa se po formuli:

$$e = \frac{d^2}{2R} \quad (2)$$

gdje je d - udaljenost mjerenja po luku od tačke A do tačke B i R - radijus Zemlje. Pritom treba imati u vidu da se svjetlost ne prostire pravolinijski u atmosferi, već po refrakcijskoj krivoj koja se može aproksimirati dijelom kružnice tj. konkavno okrenute prema površi Zemlje. Uticaj refrakcije r , odnosno visinskog pomaka BB' , zbog nepravolinijskog kretanja svjetlosnog zraka kroz atmosferu, računa se po formuli:

$$r = k \frac{d^2}{2R} \quad (3)$$

Za vrijednost koeficijenta refrakcije k obično se uzima vrijednost $k = 0,13$. Uzevši u obzir uticaj zakrivljenosti Zemlje i refrakcije dobije se:

$$h_B^2 = h_B - e + r \quad (4)$$

odnosno:

$$h_B^2 = h_B - 0.87 \frac{d^2}{2R}$$

gdje je: h_B^2 - vrijednost h_B iznad horizonta, ali popravljena za vrednost refrakcije. Na primjer, prema dimenzijama Beselovog elipsoida dobivaju se vrijednosti pravog horizonta ispod prividnog (veličina – e), za određene udaljenosti d kao što je prikazano u tabeli 1 (Solarić, 2010).

Tabela 1: Prikaz odnosa udaljenosti, visine prividnog horizonta i pomaka izazvanog refrakcijom

Udaljenost d (km)	Visina prividnog horizonta e (m)	Pomak izazvan refrakcijom r , tj. visinsko rastojanje BB' (m)
150	1 766	230
170	2 268	295
190	2 834	368
220	3 799	494

Budući da se radi o velikim daljinama treba voditi računa o načinu određivanja radijusa geometrijskog oblika Zemlje. Za manje tačne radove, tj. za praktične radove na relativno manjem području, može se dio površi Zemlje zamijeniti dijelom radijusa lopte, tj.: $R = \sqrt{MN}$, gdje su M - srednji radijus zakrivljenosti po meridijanu i N - srednji radijus zakrivljenosti po prvom vertikalalu u središtu područja geodetskog posmatranja. Također, za određene praktične radove elipsoidna geometrija Zemlje može se zamijeniti loptom, čiji je radijus R jednak aritmetičkoj sredini triju poluosi, odnosno:

$$R = \frac{a + a + b}{3} \quad (5)$$

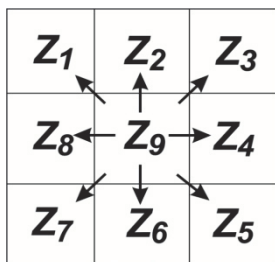
gdje su a i b velika i mala poluosa rotacionog elipsoida Zemlje.

4.2. Nagib terena

Nagib terena (S) predstavlja veoma značajan topografski parametar. Definiše ga gradijent, odnosno vektor koji pokazuje pravac najvećeg rasta skalarne funkcije $z=f(x,y)$. Također, može se definisati da je nagib terena intenzitet promjene visine u pravcu najveće kosine.

$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} = \sqrt{z_x^2 + z_y^2} \quad (6)$$

a) Metoda kraljice:

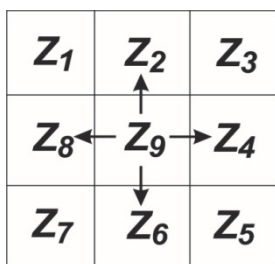


$$S = \sqrt{S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2} \times 100$$

$$S_{e-w} = \frac{(z_3 + 2z_4 + z_5) - (z_1 + 2z_8 + z_7)}{8 \times d} \quad (7)$$

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

b) Metoda topa:



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

$$S_{e-w} = \frac{z_4 - z_8}{2 \times d} \quad (8)$$

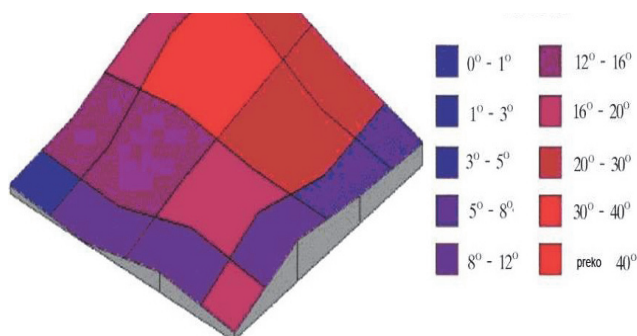
$$S_{n-s} = \frac{z_2 - z_6}{2 \times d}$$

c) Metoda maksimalnog gradijenta:

$$S = \max \left(\frac{z_9 - z_i}{d_c} \right) \times 100 \quad (9)$$

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

Ugao nagiba terena ima veliki značaj u određivanju predispozicija nekog prostora za odvijanje različitih procesa u prirodnoj sredini, a posebno je značajan za provođenje ljudskih aktivnosti. Nagib terena se može izraziti i u stepenima kao što je prikazano na slici 10.



Slika 10: Nagib terena

Radi lakše analize i sagledavanja potencijalnih mogućnosti za razvoj nekog geoprostora, izvršena je opšta klasifikacija terena u zavisnosti od veličine nagiba nagiba. Primjer je dat u tabeli 2.

Tabela 2: Opšta klasifikacija terena u zavisnosti od veličine ugla nagiba terena

Ugao nagiba	Tip terena u zavisnosti od veličine ugla nagiba
do 1 ⁰	<i>Ravan teren</i>
1 ⁰ - 3 ⁰	<i>Vrlo blago nagnut teren</i>
3 ⁰ - 5 ⁰	<i>Blago nagnut teren</i>
5 ⁰ - 8 ⁰	<i>Prilično nagnut teren</i>
8 ⁰ - 12 ⁰	<i>Iskošen teren</i>
12 ⁰ - 16 ⁰	<i>Vrlo iskošen teren</i>
16 ⁰ - 20 ⁰	<i>Umjereno strm teren</i>
20 ⁰ - 30 ⁰	<i>Srednje strm teren</i>
30 ⁰ - 40 ⁰	<i>Jako strm teren</i>
preko 40 ⁰	

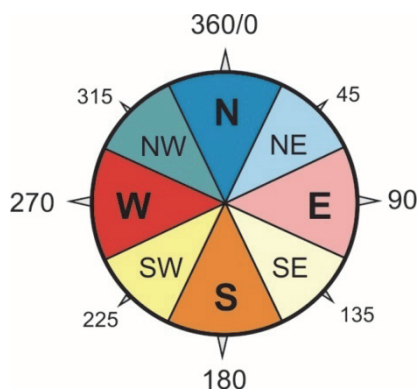
Razvojem nauke i tehnologije omogućeno je da se pojedine ljudske djelatnosti obavljaju i pod daleko nepovoljnijim reljefnim uslovima. Međutim, nagib terena je ostao neizbježan prirodni element koji ima veliki uticaj na razvoj poljoprivrede, turizma, naseljavanja određenih teritorija itd.

4.3. Ekspozicija terena

Ekspozicija (engl. 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, mjereno u pravcu kretanja kazaljke na satu. Ovaj topografski parametar posebno je značajan u hidrologiji, ekološkom inženjerstvu i

agronomiji. Određuje pravac oticanja površinskih voda i vrlo je bitna kod izrade modela osunčanosti terena. On također utiče na sadržaj vlage u zemljištu, isparenja, kao i zastupljenost biljnih vrsta.

Ekspozicija terena je danas vrlo značajan prirodni faktor i njeno proučavanje u novije vrijeme sve više dobiva na težini kada govorimo o evaluaciji morfometrijskih karakteristika terena. Naime, 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 GRID-u. Ekspozicija terena može imati vrijednosti od 0° (pravac severa) – 360° (opet pravac severa), što se može vidjeti na slici 11. Vrijednost svake ćelije GRID-a ekspozicije ukazuje nam na orijentaciju površi terena u zavisnosti od ugla nagiba. Ukoliko je teren ravan, to znači da je neekspoziran i za njegovu vrijednost se uzima (-1).



Slika 11: Šablon za određivanje orijentacije nagiba terena

Na slici 11, dat je prikaz kako teren može na osnovu nagiba da bude orijentisan u određenim pravcima: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW. Naime, značaj ekspozicije terena se ogleda u:

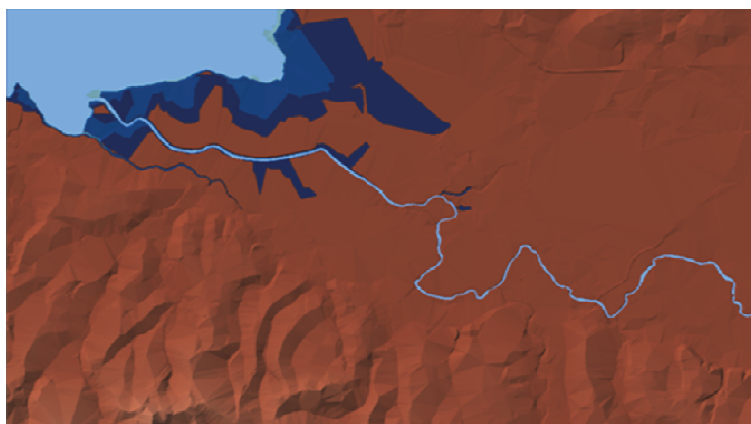
- određivanju sjevernih strana planine sa povoljnim nagibima za izradu ski staza;
- proračunu količine sunčeve svjetlosti za svaku lokaciju u posmatranom regionu kao dijelu studije koja se sprovodi o načinu i organizaciji života koji su uslovljeni sunčevom energijom;
- pronalaženju terena koji su orijentisani ka jugu, posebno planinskih, sa kojih će doći do prvog otapanja snijega i mogućnosti stvaranja bujica razornog dejstva na čovjeka i njegova naselja;
- identifikovanju oblasti sa ravnim terenom, koje bi mogle da posluže za slijetanje aviona u hitnim slučajevima.

Klasifikacija terena na osnovu njegovog potencijala u zavisnosti od ekspozicije data je u tabeli 3.

Tabela 3: Ekspozicija terena

PRIVREDNA GRANA	EKSPOZICIJA TERENA			
	Najpovoljnije	Povoljno	Uslovno povoljno	Nepovoljno
Poljoprivreda	<i>neekspozirane</i> S, SE, SW	E	W	N, NE, NW
Naseljavanje	S, SE, SW	<i>neekspozirane</i>	W, E	N, NE, NW
Zimski turizam	N, NE, NW	E	W	S, SE, SW <i>neekspozirane</i>

Orijentiranost strana znatno utiče na poljoprivredu, jer su mikroklimatski i vegetacijski elementi predodređeni stranama sveta. Naime, sjeverne padine su izložene puno manje, a južne i jugozapadne strane dužem vremenskom intervalu sunčevog zračenja. Imajući to u vidu, razvijaju se različite biljne kulture pod različitim ekspozicijama. Također, te strane padina su sušnije od ostalih jer su duži dio dana osunčane. Poznato je da suha staništa i biljna struktura na takvim tlima pogoduju pojavi požara, a uz to sunčeva toplina tokom dana utiče na pojavu vjetrova koji obično puše iz dolina prema višim dijelovima terena.



Slika 12: Hidrološka analiza

U cilju izvođenja hidroloških analiza tj. odnosa između objekata i vodenih pojava kao i procesa koji se odvijaju na površi Zemlje, kreiraju se odgovarajući 3D modeli realnog sveta. Na slici 12, dat je primjer hidrološke analize. Pored prikaza elemenata površi Zemlje, tj. infrastrukturnih objekata, reka, jezera, zemljišta i tla, moguće je dobivanje novih informacija kao rezultat upita i analize 3D modela podataka, tj. interpolacija visina u zadatim tačkama terena, simulacija plavljenja zemljišta, količina vodene mase itd. Nagib terena, također značajno utiče na stanje i praćenje hidroloških pojava. Pored ovoga, treba imati u vidu česte potrebe određivanja profila, računanja kubatura zemljanih masa, prikaza linija najvećeg pada, izrade perspektivnih prikaza terena i njegove konfiguracije, optičke vidljivosti i tome slično.

5. ZAKLJUČAK

Kreiranje 3D modela geopodataka i postupak digitalnog modeliranja terena, podržano je prije svega razvojem informacionih tehnologija. Tehnike prikupljanja podataka su napredovale, posebno u oblasti daljinske detekcije, fotogrametrije i laserskog skeniranja. Naime, sami podaci o terenu ne znače mnogo ako ne postoje tehnike i procedure za dobivanje 3D modela geopodataka, odnosno informacije o visinama ili nagiba u bilo kojoj tački, iscertavanje profila i perspektivnih pogleda, izvođenje raznih analiza i donošenje kvalitativno novih zaključaka.

Prvobitne realizacije 3D modela bile su prije svega pokušaj automatizacije u procesu izrade geodetskih planova i topografskih karata. Savremeni razvoj informatike, doveo je do toga da se 3D modeli baziraju na posebno projektovanoj bazi geopodataka. Pri tome se većina operacija sprovodi interaktivno u grafičkom režimu rada. Povezivanje sa ostalim komponentama i ugradnja 3D modela u geoinformacioni sistem, predstavlja trend u daljem razvoju geoinformacionih tehnologija.

S obzirom na dugu tradiciju visinskog prikaza terena, odnosno reljefa, izvlačenje izohipsi predstavlja i dalje, raspoloživu mogućnost digitalnog prikaza terena. To je posebno zanimljivo za geodetske i kartografske stručnjake i korisnike iz tradicionalnih razloga. Međutim, važno je napomenuti da 3D modeli nisu samo podaci o terenu koji su uređeni u odgovarajuću bazu podataka, već i mogućnost da se geoprostorna stvarnost prikazuje na lakši i efikasniji način.

LITERATURA

Environmental Systems Research Institute /ESRI (2010): Using Arc GIS 3D Analyst, User Guide, Redlands, USA.

Frančula, N. (2001): Digitalna kartografija, Skripta, Geodetski fakultet, Zagreb, Hrvatska.

Govedarica, M., Borisov, M., Vrtunski, M., Pajić, V., Popov, S. (2008): Koncepti 3D geovizualizacija na primeru modela univerzitetskog kampusa Novi Sad, Naučni skup "GEO - INFO 2008", Preljina, Srbija.

Li, Z., Zhu, Q., Gold, C. (2005): Digital terrain modeling – principles and methodology, CRC Press, Florida, USA.

Medved, I., Pribičević, B., Medak, D., Kuzmanić, I. (2010): Usporedba metoda interpolacije batimetrijskih mjerenja za praćenje promjena volumena jezera, Izvorni znanstveni članak, Geodetski list, br. 2, str. 71-86.

Mulahusić, A., Tuno, N., Topoljak, J., Balić, Dž., Hadžiosmanović, E., Stanić, S., Hajdar, A. (2013): Primjena fotogrametrije i laserskog skeniranja kod zaštite spomenika kulturno historijske baštine, Geodetski glasnik, br. 44, str. 34-57.

Republički geodetski zavod /RGZ (2012): Geodetska delatnost u Srbiji 1837-2012, Monografija, Beograd, Srbija.

Solarić, M., Solarić, N. (2010): Himalaja i pregled određivanja visina Mt. Everesta, Kartografija i geoinformacije, god. 9, br. 14, str. 58-97.

Vojnogeografski institut /VGI (2010): Informator o kartografskim publikacijama br. 11, Beograd, Srbija.

[URL1] Republički geodetski zavod.
<http://www.geosrbija.rs>
(27.09.2014.).

[URL 2] Vojnogeografski institut.
<http://www.vgi.mod.gov.rs>
(28.09.2014.).

Autori:

Doc. dr.sc. Mirko Borisov, dipl.inž.geod.

Fakultet tehničkih nauka
Univerzitet u Novom Sadu
Trg Dositej Obradović 6, 21000 Novi Sad
Republika Srbija
E-mail: mirkoborisov@gmail.com

Mr.sc. Vladimir M. Petrović, dipl.prost.planer

Univerzitet u Beogradu - Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju
Centar za ekologiju i tehnoeconomiku
Njegoševa 12, 11000 Beograd
Republika Srbija
E-mail: vladimirpetrovic.gis@gmail.com

Prof. dr.sc. Milivoj Vulić, dipl.inž.geod.

Naravoslovnotehniška fakulteta
Katedra za rudarsko merjenje in geofizikalno raziskovanje
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana
Republika Slovenija
E-mail: milivoj.vulic@guest.arnes.si