

UDK 528.7:502.5:519.65:528.8:621.3.037.37  
Pregledni znanstveni članak / Review

# Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska stereofotogrametrija

Andrija KRTALIĆ, Dubravko GAJSKI,  
Mladen MALTARSKI – Zagreb<sup>1</sup>

*SAŽETAK.* Digitalno modeliranje Zemljine površine metodama satelitske stereofotogrametrije i daljinskih istraživanja provodi se u svrhu izrade matematički aproksimirane površine koja joj najbolje priliježe. Pri izradi modela određuju se položaj i visina pojedine točke detalja na površini u odnosu na neku referentnu točku i interpolacijom između tih točaka vizualizira se neprekidna aproksimirana površina terena. Takvi modeli u današnje vrijeme imaju vrlo široku primjenu u različitim znanstvenim disciplinama i neusklađenu terminologiju. U članku je prikazan pregled inozemne i hrvatske terminologije u kojoj je primjetan nedostatak preciznije definiranih pojmova kojima bi se jasnije raščlanila semantička podjela rezultata u procesu digitalnog modeliranja površine Zemlje. S tim u vezi, u članku su predstavljena dva nova termina: digitalni model tla i digitalni model scene u svrhu preciznije definicije pojmova digitalnih modela Zemljine površine. Prikazan je i kratak osvrt na današnje mogućnosti izrade digitalnih modela Zemljine površine u satelitskoj stereofotogrametriji i daljinskim istraživanjima u odnosu na prostornu rezoluciju stereostelitskih snimaka i metode osiguravanja stereopreklopa između njih.

*Ključne riječi:* površina Zemlje, digitalni model, fotogrametrija, satelitska stereofotogrametrija, daljinska istraživanja.

## 1. Uvod

Namjera je svakog modela što vjernije aproksimirati trenutačnu ili buduću stvarnost kako bi mogli poslužiti za mjerenje objekata na njemu, za unošenja novih objekata u njega ili predviđanje kretanja i utjecaja određenih fenomena ili pojava na njemu. U Frančula i Lapaine (2008) navodi se da je model (u geoinformatici) apstrakcija realnog svijeta. Računalna tehnologija omogućava izradu i pohranu modela stvarnosti broječanim vrijednostima u obliku koordinata točaka u prostoru

<sup>1</sup> Doc. dr. sc. Andrija Krtalić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: kandrja@geof.hr,

Doc. dr. sc. Dubravko Gajski, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: dgajski@geof.hr,

Mladen Maltarski, mag. ing. geod. et geoinf., Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Oružane snage Republike Hrvatske, Ulica kralja Zvonimira 12, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: mladen.maltarski@morh.hr.

(položajna i visinska komponenta). To pak omogućuje različite načine vizualizacije tih točaka i ploha koje one stvaraju, te veliku upotrebljivost u GIS aplikacijama (Rana 2004). Iz toga proizlazi da je model matematički ili grafički prikaz stvarnosti (Frančula i Lapaine 2008), određene pojave ili fenomena u njoj (Schneider 2001). Takve modele nazivamo digitalnim modelima, a ako su izrađeni u nekom mjerilu, nazivaju se mjerni digitalni modeli. Preciznije ime, u duhu hrvatskog jezika, bilo bi *brojčani model*, jer riječ *digit* u engleskom jeziku znači *broj*, ali kako se i u Frančula i Lapaine (2008) i na mrežnim stranicama Državne geodetske uprave i u cjelokupnoj domaćoj stručnoj literaturi upotrebljava termin *digitalni*, i u ovom će se članku nadalje upotrebljavati ta usvojenica.

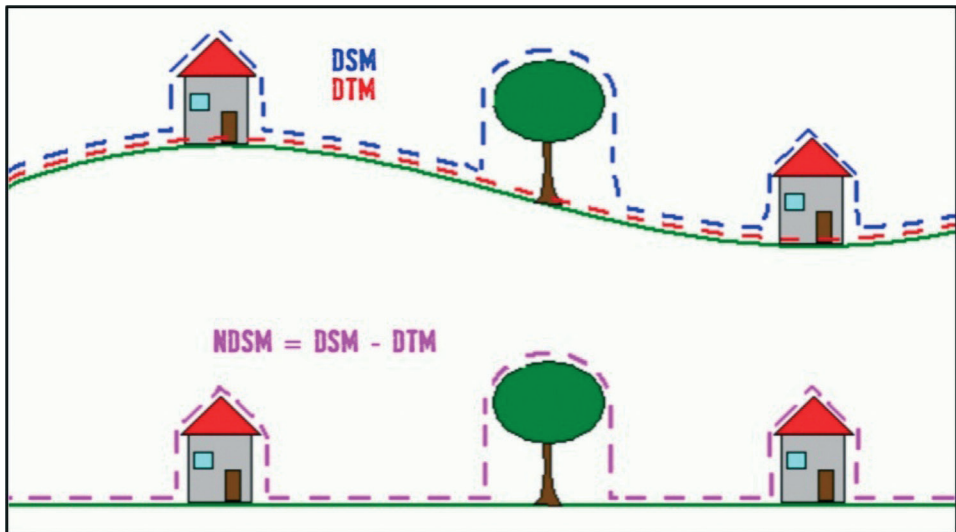
U grani daljinskih istraživanja, glavni su modeli od interesa digitalni modeli Zemljine površine odnosno scene (sve ono što je preslikano na snimci, prema terminologiji daljinskih istraživanja koja će se upotrebljavati u daljnjem tekstu). Izrada digitalnih trodimenzionalnih prikaza scene provodi se na osnovi satelitskih stereosnimaka i podrazumijeva izradu digitalnog modela Zemljine površine bez prirodnih objekata ili s prirodnim (drveće, žbunje) i umjetnim objektima (zgrade, mostovi, prometnice). Ovisno o tome što prikazuju, razlikuju se njihova imena i definicije (tablica 1), kao i izrada. S tim u vezi, digitalno je modeliranje scene interdisciplinarno područje koje zahtijeva poznavanje geodetskih metoda prikupljanja prostornih podataka u različitim referentnim koordinatnim sustavima, geoinformatička znanja upravljanja prostornim podacima pomoću različitih programskih rješenja te specifična znanja fotogrametrije i daljinskih istraživanja potrebna za interpretaciju dobivenih rezultata. Ta interdisciplinarnost uvodi i određene dubioze u točnije definiranje pojedinog modela. Za potpuno shvaćanje problematike modeliranja Zemljine površine potrebno je razumjeti svojstva i mogućnosti stereoskopskog opažanja satelitskih senzora, te elemente orijentacije satelitskih snimki, a poglavito njihovu prostornu rezoluciju. Uspostava ispravnog odnosa između koordinatnih sustava, objekata izmjere, satelita i snimki uvjet je za dobivanje kvalitetnih trodimenzionalnih podataka o sceni. Poznavanje izvora pogrešaka pri uspostavi fotogrametrijskog modela olakšava kasniju interpretaciju rezultata i pogrešaka prisutnih u trodimenzionalnom prikazu scene. U nastavku slijedi pregled inozemne i hrvatske terminologije i definicija digitalnih modela scene, načina izrade i osvrt na satelitsku fotogrametriju.

## 2. Digitalni trodimenzionalni modeli Zemljine površine

Internacionalni pojam digitalni model terena (DTM) datira s kraja 1950-ih i obično se pripisuje dvojici američkih inženjera s Massachusetts Institute of Technology, Milleru i Laflammeu. Oni su, među prvima, definirali DTM kao statistički prikaz kontinuirane površine tla velikim brojem odabranih točaka s poznatim koordinatama X, Y, Z u proizvoljnom koordinatnom sustavu (Miller i Laflamme 1958).

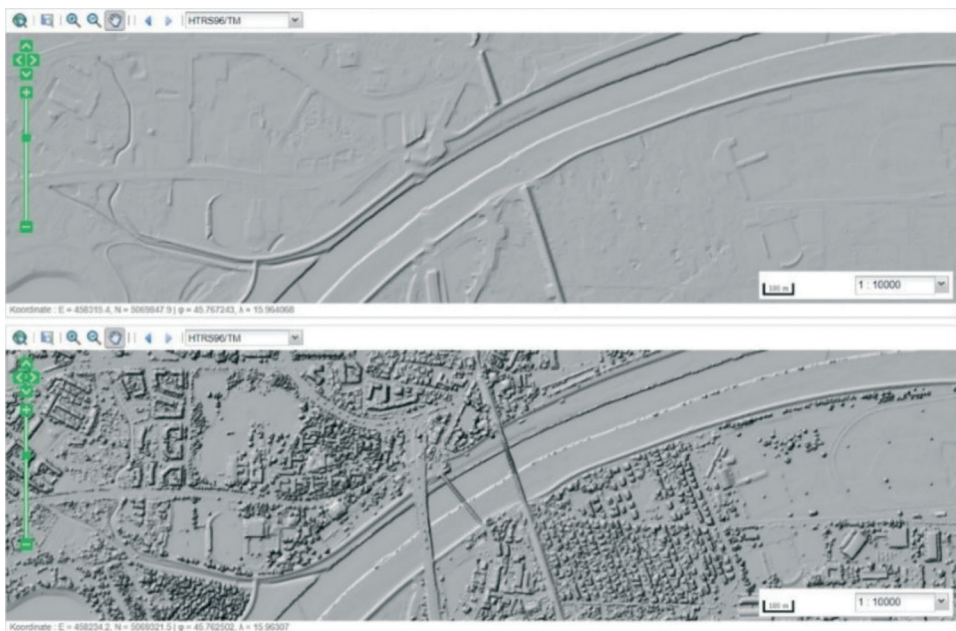
Nekoliko desetljeća poslije osnovni pojmovi modela terena i površine definirani su u Maune (2001):

- kao digitalni visinski model (engl. *Digital Elevation Model* – DEM) – generički pojam koji obuhvaća digitalne topografske podatke u različitim oblicima.
- kao digitalni model terena (engl. *Digital Terrain Model* – DTM, slika 1): sinonim za digitalni visinski model scene na kojoj se nalazi samo gola zemlja (prirodni reljef).



Slika 1. Prikaz DSM-a, DTM-a i nDSM-a i njihovih razlika (Burdeos i dr. 2015).

- kao digitalni model površine (engl. *Digital Surface Model* – DSM, slika 1): prikazuje uzvisine vrhova reflektirajućih površina, kao što su zemljana površina, zgrade (umjetni objekti) i vegetacija.



Slika 2. Primjer DTM-a i DSM-a dijela Zagreba (izvor: Geoportal DGU, prema Maltarski 2018).

Osim tih modela postoji i normirani digitalni model površine (engl. *normalized Digital Surface Model* – nDSM) (Hohle 2013), koji je definiran kao razlika između DSM-a i DTM-a (slika 1). nDSM naglašava objekte u relativnom odnosu prema tlu (umjetni objekti i vegetacija poput drveća ili grmlja) ili objekte na tlu (ravna područja, ceste, ...).

Najvažniji su specifični elementi za prikazivanje Zemljine površine, prema Cayley (1859), Maxwell (1870), Li i dr. (2005):

- udubine, jame (engl. *pits*) – lokalni visinski minimumi (npr. udoline ili vrtače),
- vrhovi (engl. *peaks*) – lokalni maksimum (vrhovi brda i planina),
- bridovi, vododjelnice (engl. *ridge lines*) – linije koje spajaju lokalne maksimume u poprečnom presjeku,
- vodoslivnice (engl. *course line*) – linije koje spajaju lokalne minimume u poprečnom presjeku (riječne doline, linije protoka, klanci),
- prijelazi, sedla (engl. *passes*) – prijelazne točke vododjelnica i vodoslivnica,
- linije loma (engl. *break lines*) – mjesta gdje je promjena nagiba nagla,

dok se kao općenitiji elementi, u Evans i Cox (1999), Hutchinson i Gallant (2000) navode:

- slojnice (engl. *contours*) – linije jednake visine iznad referentne razine (razine mora ili geoida),
- linije nagiba (engl. *slope lines*) – linije padajućega gravitacijskog toka, pod pravim kutom prema slojnicama,
- ravnine – područja reljefa gdje su sve visinske vrijednosti jednake.

Navedeni specifični elementi Zemljine površine dovoljni su za aproksimaciju ko-pnene površine, a sve ostale točke koje se na njoj nalaze mogu se odrediti interpolacijom između točaka specifičnih elemenata (Hengl i Evans 2009). Vidljivost i mogućnost prikazivanja pojedinih objekata u digitalnome modelu u mnogome ovisi i o rezoluciji digitalnih (satelitskih) snimki koje se upotrebljavaju u stereofotogrametriji za izradu modela. Za kvalitetu digitalnog modela i njegove uspješne primjene najveći značaj ima način uzorkovanja površine, a navode se tri glavne metode. Metoda uzorkovanja određuje kvalitetu digitalnog modela, a time i razinu upotrebljivosti izrađenog modela. Navode se tri glavne skupine metoda uzorkovanja visina (Li i dr. 2005):

- statističko (nasumično) uzorkovanje [engl. *statistical (random) sampling*],
- pravilno uzorkovanje (engl. *regular sampling*),
- uzorkovanje temeljeno na značajkama (engl. *feature-based sampling*),

a prema Katzilu i Doztscheru (2000), za izradu digitalnog modela upotrijebljeno je pet pristupa uzorkovanja:

- sustavno (engl. *systematically* – npr. pravilna mreža),
- uzduž paralelnih profila (engl. *along parallel profile lines*),
- uzduž slojnice (engl. *along contours*),
- na svim minimumima i maksimumima površine (engl. *on all minima and maxima* – svi vrhovi i jame),
- uzduž linija specifičnih za površinu, kao što su topografski lomovi, vododjelnice i vodoslivnice (engl. *along surface-specific lines, such as topographical breaks, ridge and course lines*).

## 2.1. Internacionalna terminologija i definicije

U Li i dr. (2005) definirani su i: engl. *Digital height model* (DHM), engl. *Digital ground model* (DGM), kao i engl. *Digital terrain elevation model* (DTEM), a po-tječu iz različitih zemalja. DEM je raširen u Americi, DHM dolazi iz Njemačke, DGM se upotrebljava u Velikoj Britaniji, a DTEM su uveli i upotrebljavaju USGS i DMA (engl. *Defense Mapping Agency*) (Petrie i Kennie 1987). U praksi se pret-postavlja da su pojmovi DTM, DEM, DHM i DTEM sinonimi, što je najčešće točno. Međutim, katkad je riječ o različitim produktima s malim razlikama između poj-mova: tlo (engl. *ground*), visina (engl. *height*), elevacija (engl. *elevation*) i teren (engl. *terrain*), čija se komparativna analiza može pronaći u Li (1990). Tako se DGM više-manje odnosi na *digitalni model čvrste površine* (engl. *a digital model of a solid surface*). Nasuprot tome, pojmovi visina i elevacija naglašavaju *mjerenje od datuma do vrha* (engl. *measurement from a datum to the top*) objekta. Oni se ne moraju nužno odnositi na visinu površine terena, ali u praksi je to aspekt koji je naglašen u upotrebi tih pojmova. Pregled internacionalnih i domaćih pojmova i dodatnih definicija navedeni su u tablici 1.

Značenje *terena* je složenije i obuhvatnije (Schneider 2001). Može sadržavati pojam *visine* (ili *nadmorske visine*), ali i pokušaje uključivanja drugih geografskih eleme-nata i prirodnih obilježja. Pojam DTM ima šire značenje nego DHM ili DEM i u njega se ugrađuju specifične značajke terena pa on u pravilu sadrži dodatne ele-mente oblikovanja terena, kao što su karakteristične visine (lokalni maksimumi i lokalni minimumi), strukturne linije (linije loma, vododjelnice i vodoslivnice), te interpolacijsku funkciju. Pojam *teren* znači različite stvari stručnjacima u različitim područjima, kao i pojam DTM. Na primjer, geolozi ili građevinari trebaju prikaz terena bez vegetacije (trava, žbunje, drveće) koja im je smetnja u direktnom pristupu objektu analize i ispitivanja, dok je šumarima, agronomima ili biologima upravo vegetacija ono što žele na modelu i što im je objekt istraživanja. I jedno i drugo se može svesti pod pojam *teren*. Geodeti istražuju DTM sa stajališta oblika Zemljine površine, s jedne strane (satelitska geodezija), odnosno prikaza Zemljine površine s naglaskom na topografiju terena i objekte koji se na njoj nalaze (inže-njerska geodezija, fotogrametrija), s druge strane.

## 2.2. Hrvatska terminologija i definicije

U Republici Hrvatskoj upotrebljava se termin *digitalni model reljefa* – DMR (URL 1), koji je u Frančula i Lapaine (2008) definiran kao: *skup položajno (i visinski) određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) potrebnih za prikaz Zemljine površine* i svojevrni je ekvivalent inoze-mnom pojmu DTM i njemu srodnim pojmovima DHM i DGM. Isti izvor definira i *digitalni model visina* (DMV) kao izvedenicu iz DMR-a koja označava pravilnu mrežu visinskih točaka, interpoliranih na osnovi odgovarajućeg DMR-a. U hrvat-skoj terminologiji nije službeno definiran pojam DEM (čiji bi doslovni prijevod glasio *digitalni elevacijski model*) pa ga u većini slučajeva može zamijeniti termin DMR. Službena definicija u hrvatskoj terminologiji također ne postoji za DSM, koji je danas u vrlo širokoj upotrebi (i u Hrvatskoj) zbog velikog broja softverskih rje-šenja za automatsku izradu todimenzijskih prikaza na osnovi geometrijske i radiometrijske korelacije, a bez nužnosti direktnih određivanja točaka na terenu (osim za provođenje apsolutne orijentacije). Kada se upotrebljava, prevodi se

Tablica 1. *Odabrani pojmovi i definicije upotrebljavani u domeni digitalnog modeliranja Zemljine površine (na osnovi Maltarski 2018).*

Područje upotrebe	Kratica	Puni naziv	Opis
Internacionalna terminologija	DTM	Digital terrain model	Složeniji koncept koji uz visinske podatke uključuje i druge GIS objekte poput rijeka i prijelomnica, a može uključivati i izvedene oblike poput nagiba, ekspozicije i vidljivosti. U užem smislu predstavlja reljef terena. Obično se DTM odnosi na visinu samog terena (El-Sheimy i dr. 2005).
			Digitalni opis površine terena pomoću skupa visina iznad 2D točaka koje se nalaze na referentnoj površini (Hirt 2014).
	DSM	Digital surface model	Model koji sadrži visinske vrijednosti objekata smještenih na terenu. Opisuje prave visine svih objekata (terena, kuća, drveća,...) (Linder 2016).
	DEM	Digital elevation model	Podskup DTM-a i njegova najosnovnija komponenta, a obično predstavlja visinske podatke organizirane u obliku matrice (Li i dr. 2005).
			Model koji uključuje sve maksimalne visine, uključujući krovove zgrada i krošnje drveća (El-Sheimy i dr. 2005).
			Model koji se odnosi na takozvanu topografsku površinu odnosno голу površinu Zemlje bez zgrada i vegetacije (Förstner i Wrobel 2016).
			Općeniti naziv koji se upotrebljava za modele izrađene digitalnim modeliranjem terena (DSM i DTM) (Dowman i dr. 2012).
DHM	Digital height model	Rjeđe upotrebljavan izraz s istim značenjem kao i DEM budući da se riječi elevacija i visina smatraju sinonimima (El-Sheimy i dr. 2005).	
DGM	Digital ground model	Model gole površine Zemlje. Osim pojedinačnih točaka obuhvaća i oblik te parametre interpolacijske funkcije koja može služiti za kreiranje bilo koje točke na terenu. Ovaj termin u većoj mjeri zamjenjuje pojam DTM (El-Sheimy i dr. 2005).	
DTED	Digital terrain elevation data	Standard razvijen u vojne svrhe od strane nacionalne geoprostorno-obavještajne agencije NGA (engl. National Geospatial-Intelligence Agency) koji predstavlja uniformiranu matricu visinskih podataka o terenu i daje osnovne kvantitativne podatke sustavima i aplikacijama koje zahtijevaju visinu terena, nagib i/ili podatke o površinskoj hrpavosti (URL 2).	
Hrvatska terminologija	DMR	Digitalni model reljefa	Skup položajno (i visinski) određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) koji prikazuju površinu zemljišta i iz njih izračunan matematički model te plohe (Frančula i Lapaine 2008).
	DMV	Digitalni model visina	Matematički model površine Zemlje izračunat iz digitalnog modela reljefa (URL 3).
	–	Digitalni topografski model	Prikaz reljefa prostornim koordinatama određenog broja točaka pri čemu je svakoj točki pridružen i podatak o vrsti terena (Frančula i Lapaine 2008).
	–	Digitalni model površina	Model koji predstavlja Zemljinu površinu i obuhvaća sve objekte na njoj (Oštir i Mulahusić 2014).

doslovno kao *digitalni model površine*. Međutim, DSM je višesmisleni pojam u interdisciplinarnom prostoru u kojem se upotrebljava. Jer, u Rana (2004) se navodi kako *svaka stvar ima površinu* i postavlja se pitanje je li površina Zemlje (engl. *land surface*) ispravan termin, odnosno, kako jednoznačno definirati površinu Zemlje? Jesu li vegetacija (žbunje, drveće) i umjetni objekti (zgrade, mostovi, vijadukti) površina ili objekti na površini Zemlje!? U tom pogledu određeni se odgovor može isčitati iz definicije u Oštir i Mulahusić (2014): "*Model koji predstavlja Zemljinu površinu i obuhvaća sve objekte na njoj*". Prilikom izrade digitalnih modela Zemljine površine podrazumijevaju se i neka topološka ograničenja i pojednostavnjenja, jer se u digitalnom modelu ne prikazuju točke s višestrukim visinama (Hengl i Evans 2009), (točke kojima se prikazuju pećine, prevjesi ili gromade). U tablici 1 prikazan je pregled trodimenzionalnih digitalnih modela i njihove definicije.

Na osnovi svega navedenoga primjetan je nedostatak preciznije definiranih pojmova kojima bi se jasnije raščlanila semantička podjela rezultata u procesu digitalnog modeliranja površine Zemlje.

### 2.3. Ulazni podaci

U svrhu boljeg razumijevanja navedenih pojmova i pojmova prikazanih u ovom članku potrebno je poznavati ulazne podatke i načine njihova prikupljanja i izrade jer oni izravno utječu na kvalitetu konačnih digitalnih modela (poglavito DSM-a) (Lemaire 2008). Metode i mjerne tehnike za prikupljanje ulaznih podataka o Zemljinoj površini a u svrhu izrade njezina digitalnog modela mogu se podijeliti:

- na vektorizaciju topografskih karata (izohipse, kote),
- na terenska mjerenja za prikupljanje položajnih i visinskih podataka (tahimetrija, GNSS),
- na fotogrametrijsku metodu izmjere (terestrička, zračna, satelitska),
- na radarske metode prikupljanja podataka (zračne, satelitske),
- na prikupljanje i obradu LiDAR podataka.

Svaka navedena metoda i način prikupljanja podataka ima svoju namjenu i svrhu u obliku tražene točnosti, pristupačnosti instrumentarija i raspoloživih sredstava, o čemu ovisi i njihov odabir. U Li i dr. (2005) provedena je analiza, a u tablici 2 prikazana usporedba metoda prikupljanja podataka za izradu digitalnih modela.

Interpretacija analize u tablici 2 dovodi do zaključka kako je visoka točnost metode proporcionalna s visokim troškom, odnosno niska je točnost proporcionalna s malim troškom za njezino provođenje. Ručna vektorizacija i terenska mjerenja najsporije su metode prikupljanja, dok aerofotogrametrija i LiDAR pružaju brži način prikupljanja podataka uz veće ograničenje prostornog zahvata, a satelitska stereofotogrametrija i radarske metode izdvajaju se kao najbrže. Satelitska stereofotogrametrijska metoda može se smatrati optimalnom jer može pružiti submetarsku razinu točnosti u vrlo kratkom vremenskom razdoblju.

Tablica 2. Usporedba različitih metoda prikupljanja podataka za digitalno modeliranje terena (Li i dr. 2005).

Metoda prikupljanja	Točnost	Brzina	Cijena	Veličina područja primjene
Vektorizacija				
ručna automatska	niska (m) niska (m)	sporo brzo	visoka niska	sve veličine
Terenska mjerenja				
tahimetrija GNSS	visoka (cm) relativno visoka (cm/m)	vrlo sporo sporo	vrlo visoka relativno visoka	mala
Fotogrametrijska				
zračna satelitska	srednja do visoka (cm/m) niska do srednja (m)	brzo vrlo brzo	relativno niska niska	srednja/velika velika
Radarske				
	niska do vrlo niska (m/10 m)	vrlo brzo	niska	velika
LiDAR				
	visoka (cm)	brzo	visoka	srednja/velika

## 2.4. Struktura digitalnog modela

Definiranjem topoloških odnosa i odabirom odgovarajuće metode interpolacije kojom će se na temelju izmjerenih vrijednosti što vjernije aproksimirati stvarnost (teren) odabire se struktura rezultirajućeg modela koji će se kreirati na osnovi prikupljenog skupa podataka. Prema Weibel i Heller (1991), El-Sheimy i dr. (2005), Li i dr. (2005), Čomić i dr. (2014) strukture digitalnih modela najčešće su podijeljene na dvije skupine:

- nepravilna mreža trokuta (engl. *Triangulated Irregular Network* – TIN, slika 3),
- pravilna mreža točaka ili pravilna rešetka (engl. *GRID*, slika 3).

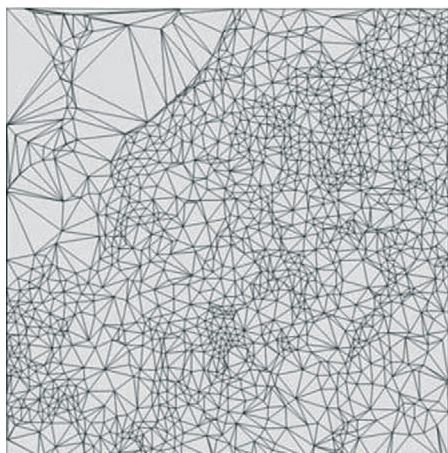
TIN struktura digitalnog modela (vektorska) podrazumijeva eksplicitno definiranje topologije odnosno upotrebu bridova i čvorova za utvrđivanje prostornih odnosa između pojedinih trokuta u mreži, dok se modeliranje plohe u GRID strukturi podataka (rasterska) svodi na interpolaciju vrijednosti između poznatih točaka prikupljenih na pravilnim razmacima čime se ujedno definira i prostorna rezolucija budućeg DMR-a odnosno minimalna površina za koju izrađeni model može pružiti rezultat. Usporedba u smislu prednosti i mana TIN i GRID structure prikazana je u tablici 3.

Osim tih dviju glavnih struktura u El-Sheimy i dr. (2005), Li i dr. (2005), Kumler (1994), Zhu i dr. (2001), Čomić i dr. (2014) navode se i analiziraju strukture nepravilnih mreža točaka i slojnica, odnosno podatci mjerenih visina nasumičnih

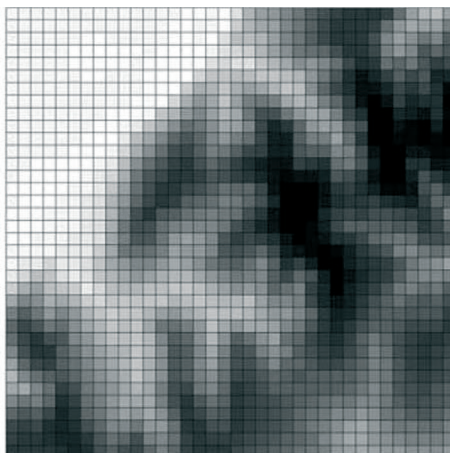


Tablica 3. *Prednosti i mane GRID i TIN strukture digitalnog modela (El-Sheimy i dr. 2005).*

Struktura podataka	Prednosti	Mane
GRID	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jednostavna integracija s rasterskim bazama podataka</li> <li>• prirodniji izgled elemenata reljefa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• neučinkovito uzimanje uzoraka mjerenja (točaka) ovisno o promjeni kompleksnosti terena (redundancija podataka)</li> <li>• nemogućnost upotrebe mreže različitih veličina kako bi se točnije prikazao kompleksniji teren</li> <li>• rijetko se unutar uzorka mjerenja nalazi najviša ili najniža točka terena (izgube se unutar ćelija pravilne mreže)</li> </ul>
TIN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prikaz reljefa u različitim rezolucijama (razina detalja)</li> <li>• može uključivati najvišu/najnižu točku terena neovisno o gustoći uzoraka mjerenja</li> <li>• dopušta gušće uzimanje uzoraka mjerenja na određenim segmentima ovisno o kompleksnosti terena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• često zahtijeva vizualni pregled i kontrolu mreže te njeno uređivanje</li> <li>• zahtijeva više vremena za obradu i upotrebu (kompleksna struktura)</li> <li>• veći memorijski zahtjevi</li> </ul>



a)



b)

Slika 3. a) *TIN struktura DEM-a (1:50 000)*, b) *GRID struktura DEM dijela brda Baranja (Hengl i Evans 2009).*

(karakterističnih) točaka ili linija kao strukture podataka iz kojih se postupkom interpolacije proizvodi digitalni model koji označava plohu terena definiranu u svakoj točki za razliku od samih podataka mjerenja (Bonin i Rousseaux 2005). U literaturi je definirana i opisana i hibridna struktura, koja istovremeno upotrebljava i pravilnu i nepravilnu mrežu (Li i dr. 2005, Hua i dr. 2007).

## 2.5. Filtriranje digitalnog modela

Pema navedenim pojmovima i definicijama vidljivo je da automatski proizveden DSM sadrži mnoge elemente koje DTM ili DMR ne bi trebali sadržavati i da je potrebno obaviti dodatne obrade u smislu otklanjanja određenih objekata (umjetnih objekata, visoke vegetacije), a da glavna svojstva Zemljine površine i dalje ostaju očuvana (El-Sheimy i dr. 2005). U tu se svrhu provodi filtriranje DSM-a. Filtriranje digitalnog modela može se usporediti s pojmom kartografske generalizacije Zemljine površine. U digitalnim modelima dolazi do regionalnih (definiraju osnovne oblike površine) i lokalnih promjena (ovisno o mjerilu prikazuju traženu razinu detalja), te nasumični šumovi (prisutni su u obje navedene pojavnosti) (Li i dr. 2005).

Osim generalizacije i uklanjanja šumova u praktičnoj se primjeni danas filtriranje u digitalnom modeliranju terena najčešće upotrebljava u svrhu pretvorbe DSM-a u DTM, odnosno za uklanjanje svih prirodnih i umjetnih objekata poput vegetacije ili građevina kako bi se dobila samo ploha terena (Linder 2016).

## 2.6. Kontrola kvalitete digitalnog modela

Kvaliteta DTM/DMR-a ovisi o izvoru podataka odnosno upotrebljavanoj tehnici prikupljanja podataka i izrade (El-Sheimy i dr. 2005), a uobičajeno se izražava mjerom horizontalne i vertikalne točnosti (Li i dr. 2005), standardnim odstupanjem od nekog referentnog modela ili koeficijenta korelacije između tih dvaju modela, pod uvjetom da su modeli u istom geodetskom datumu i iste prostorne rezolucije. Pogreške (slučajne, sustavne ili grube) u prikupljenim podacima i rezultatima uvijek su prisutne bez obzira na mjernu tehniku i metodu izrade digitalnog modela. Pogreške se dijele na one nastale odabirom strukture digitalnog modela, aproksimacijom prostora, te interpolacijom i filtriranjem digitalnog modela, obradom i upotrebom različitih skupova podataka, metodama za računanje primarnih (nagib, ekspozicija, zakrivljenost, vidljivost i dr.) i sekundarnih (raspodjela tla, solarna energija i temperatura površine) parametara reljefa te parametrima za određivanje smjera vodenih tokova (Wilson 2018). Na točnost i kvalitetu fotogrametrijskih digitalnih modela utječe i prostorna rezolucija ulaznih snimki koja najviše utječe na generalizaciju objekata na površini Zemlje. Spomenute činjenice i pogreške, uz razumijevanje njihova nastanka i utjecaja, omogućuju kontrolu kvalitete i bolju interpretaciju dobivenih rezultata, kao i razvijanje algoritama za detekciju i ispravljanje grubih pogrešaka (Li i dr. 2005).

## 3. Satelitska stereofotogrametrija

Sinergija metoda satelitskih daljinskih istraživanja i fotogrametrije moćan su alat koji osigurava periodično nadgledanje, kartiranje i smještanje u prostor objekata, promjena na njima, te pojava i fenomena koji se u njemu dešavaju (Lazaridou i Patmios 2012). S povećanjem prostorne razolucije satelitske su snimke postale još upotrebljivije u svrhu izrade ortoprikaza i digitalnog modela Zemljine površine. Primjeri upotrebe takvih modela mogu se pronaći u Altmaier i Kany (2002), Tsutsui i dr. (2007), Wechsler (2007), Shaker i dr. (2010), Biswas i dr. (2016).

Geometrijska analiza i prikupljanje satelitskih podataka (snimki) uglavnom se smatraju izravnim proširenjem tradicionalne zračne fotogrametrije, a glavna je razlika u građi senzora (linearni senzor u odnosu na matrični senzor) (Qin 2018). Do 2016. godine fotogrametrija i daljinska istraživanja definirani su istom definicijom u statutu ISPRS-a (engl. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), a nakon 2016. godine definiraju se kao zasebne discipline (URL 4). Osnovna je razlika između tih dviju disciplina u tome što je za fotogrametriju primarna obaveza osiguravanja mjerne (metričke) komponente, dok daljinska istraživanja trebaju osigurati interpretacijsku (tematsku) komponentu u analizi i obradi satelitskih snimki. Prednosti satelitske fotogrametrije u odnosu na aerofotogrametriju općenito su brzina, opseg i cijena prikupljanja podataka, te uklanjanje potrebe za planiranjem rute leta, a nedostaci se očituju u grubljoj prostornoj rezoluciji, pomacima zbog nestabilnosti mehaničke konstrukcije senzora i tijela satelita, oblacima i drugim atmosferskim ili kozmičkim čimbenicima (npr. rotacija Zemlje) s obzirom na visinu orbite satelita. Fotogrametrijske metode mogu se primjenjivati neovisno o veličini objekta ili udaljenosti objekta od kamere, ali pritom je nužno poznavati geometrijske parametre kamere koja se za satelitsko opažanje znatno razlikuje od klasičnih kamera prema načinu formiranja slike (Linder 2016). Ustvari, linijski senzor (engl. *push-broom*) možemo smatrati posebnim oblikom matričnog senzora sa samo jednom linijom piksela u kojem se preslikavanje obavlja po načelima centralne projekcije od središnjeg (centralnog) piksela prema rubovima.

### 3.1. Satelitske stereosnimke i prostorna rezolucija

Određeni nedostatak u manipuliranju satelitskim snimkama očituje se u činjenici da sirove satelitske snimke, geometrijske i radiometrijske korekcije i transformacije sirovih satelitskih snimki (Dowman i dr. 2012) mogu kvalitetno izraditi i provoditi samo vlasnici senzora jer imaju podatke koji su potrebni za njihovo formiranje (parametri kamere potrebni za unutarnju i vanjsku orijentaciju) i parametarsko geokodiranje (podaci položaja i kutova nagiba senzora) linija snimanja (Schlaepfer 2006).

Sve veća dostupnost i razlučivost satelitskih snimki (tablica 4) privlače veliku pozornost u generiranju 3D modela terena i objekata na njemu. Prednost tako izrađenih modela očituje se u visokoj vremenskoj razlučivosti današnjih satelitskih sustava i relativno niskim troškovima, a nije nužno ni posebno označavati i određivati kontrolne točke na terenu (Ma i dr. 2017, 2018), (tablica 4). Oni pružaju i veliki potencijal za opsežno motrenje i analiziranje velikih dijelova površine zemljišta. Ako, za određena područja od interesa, digitalni model površine nije dostupan ili nije uopće izrađen, pomoću stereosatelitskih snimki mogu se relativno brzo izraditi digitalni modeli površine za ta područja. Također su razvijeni napredni algoritmi za izradu gustog oblaka točaka na osnovi preklopa višestrukih stereosatelitskih snimki za rekonstrukciju LiDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) usporedivih 3D oblaka točaka (Gehrke i dr. 2010). Međutim, praksa pokazuje da rezultati rekonstrukcije nisu idealni, čak i uz upotrebu najnaprednijih metoda testiranja (Scharstein i Szelinski 2014).

Opća klasifikacija satelitskih snimki s obzirom na ostvarivu prostornu rezoluciju prikupljanja dana je u tablici 4. Za potrebe satelitske fotogrametrije upotrebljavaju se satelitske snimke vrlo visoke rezolucije (tablica 4) što znači da registriraju

podatke u prostornoj rezoluciji manjoj od 1 m (Dowman i dr. 2012), ali se zbog svoje besplatne dostupnosti upotrebljavaju i satelitske snimke sustava Landsat (Toutin 2002), koje su srednje rezolucije (15 m).

Tablica 4. *Klasifikacija senzora s obzirom na prostornu rezoluciju prikupljanja (Dowman i dr. 2012) i točnost georeferenciranja satelitskih snimki vrlo visoke rezolucije bez upotrebe kontrolnih točaka na terenu (URL 5).*

Razina rezolucije senzora		Prostorna rezolucija / veličina piksela [m]	
Niska rezolucija		$\geq 30$ & $< 300$	
Srednja rezolucija		$\geq 5$ & $< 30$	
Visoka rezolucija		$\geq 1$ & $< 5$	
Vrlo visoka rezolucija		$< 1$	
Satelit	Prostorna rezolucija [m]	Točnost georeferenciranja [m] bez kontrolnih točaka na terenu	
IKONOS Stereo	0,8 – 1	25	
TripleSat/DMC3	0,8 – 1	$< 50$	
KOMPSAT-3	0,7	$< 48,5$	
QuickBird	0,65	23	
Pleiades-1A & 1-B	0,5	3	
GeoEye-1	0,46	5	
WorldView-1	0,46	$< 4$	
WorldView-2	0,46	$< 3,5$	
WorldView-3	0,31	$< 3,5$	
WorldView-4	0,31	$< 4$	

### 3.2. Metode osiguravanja stereopreklopa satelitskih snimki

U klasičnim zračnim fotogrametrijskim misijama snimanje se planira i kontrolira na način idealnog obuhvata područja snimanja blokovima snimki u paralelnim nizovima i u pogodnoj geometrijskoj konfiguraciji. U slučaju satelitskog snimanja akvizicija je ipak restriktivnija u smislu: uzorkovanja; vremenskog intervala prikupljanja i atmosferskih utjecaja. Linija leta zadana je orbita, a s obzirom na to da je većina satelitskih sustava opremljena linijskim sensorima, stereoskopsko se preklapanje ostvaruje upravljanjem (orijentacijom) kamere u orbiti. Stereoskopsko preklapanje snimki osigurava se u istoj orbiti unutar nekoliko sati ili u različitom orbitalnom prolazu (u paralelnoj orbiti) unutar nekoliko dana. Ta geometrijska i vremenska ograničenja uzrokuju poteškoće u generiranju digitalnog modela

Zemljine površine. S jedne strane je istaknut zahtjev za precizno upravljanje satelitskim sustavom kako bi se dobile očekivane konvergentne slike, a s druge strane zbog velikog vremenskog intervala dolazi do veće diskrepancije u radiometrijskim karakteristikama stereoparova zbog različitog osvjetljenja scena. U stereoprikupljanju podataka kut presijecanja između dvije snimke stereopara smatra se najvažnijim parametrom, jer suvremeni algoritmi kreiranja oblaka točaka na osnovi presjeka zraka prema identičnim točkama stereoparova snimki najbolje funkcioniraju s kratkim bazama (manji kut presijecanja) snimanja (npr. 15 – 25 stupnjeva je „dobar“ raspon kutova presijecanja za *Semi-Global Matching* metodu) (Qin 2018). Većina današnjih algoritama za kreiranje oblaka točaka iz stereoparova favorizira usku bazu između susjednih snimki, dok u tradicionalnoj geometrijskoj analizi veća baza nudi veću vertikalnu točnost. U Qin (2018) provedena je analiza tih tvrdnji i zaključeno da je za postizanje konzistentnog i potpunog digitalnog modela površine preporučljivo imati manji kut presijecanja, odnosno manju bazu između stereoparova.

#### 4. Diskusija i zaključak

Osim što su kompleksni u izradi, digitalni modeli Zemljine površine kompleksni su i u definiranju onoga što prikazuju. Autori su svjesni praktične činjenice da je mnogo bitnije poznavati sve aspekte i parametre koji utječu na izradu digitalnog modela nego lamentirati o terminologiji, međutim, kako je to višedisciplinarna djelatnost (ili bolje rečeno *svedisciplinarna*, jer gotovo da i ne postoji djelatnost koja nema potrebu za nekom vrstom digitalnog modeliranja Zemljine površine) potrebno je što preciznije definirati konačni proizvod kako bi stručnjaci iz različitih područja mogli točnije artikulirati svoje zahtjeve za izradu digitalnog modela Zemljine površine za svoje potrebe. Ovim se člankom predstavljaju novi termini digitalnih modela Zemljine površine koji adekvatnije definiraju konačne rezultate modeliranja od trenutačno uvriježenih, i potiče daljnja rasprava o toj temi.

Novi termin: *digitalni model tla* (DMT) matematička je aproksimacija Zemljine površine koja sadržava položajne i visinske podatke o vrhovima golog tla, kanala i nasipa (koji su izrađeni u tlu ili od njega), a ne sadržava visinske podatke vrhova visoke vegetacije (žbunje i drveće) i umjetnih objekata koje je izgradio čovjek (osim kanala i nasipa). Takav model nastaje u procesu fotogrametrijske izmjere izostavljanjem kartiranja visoke vegetacije i umjetnih objekata, odnosno filtriranjem automatski izrađenog modela u svrhu uklanjanja visoke vegetacije i umjetnih objekata. Uporište za takav naziv nalazi se u definiranju riječi *tlo*, koje se definira u Anić i dr. (2002) kao: *površina zemljišta ili druga osnovna površina (po kojoj se hoda ili što podiže (u smislu građenja) i sl.)*, ili prema URL 6: *rastresiti površinski sloj Zemljine kore, samostalna prirodna tvorevina i istodobno proizvodno sredstvo za biljnu proizvodnju*. Taj bi pojam zamijenio termine *digitalni model reljefa* i *digitalni model terena* koji su neprecizni termini jer je u Hrvatskom enciklopedijskom rječniku *reljef* definiran kao: *oblik tla, površina Zemljine kore s obzirom na razlike u visini, prirodna uzdignuća i udubljenja, a teren kao zemljište, tlo određeno prema svom fizičkom svojstvu*. Dakle, i u jednoj i u drugoj definiciji spominje se tlo kao pojam, u prvoj je to oblik tla, a u drugoj njegova fizička svojstva.

Novi termin: *digitalni model scene* (DMS) matematička je aproksimacija Zemljine površine koja sadržava položajne i visinske podatke o vrhovima svih prirodnih i umjetnih objekata (golog tla, kanala i nasipa, svih vrsta vegetacije i umjetnih objekata koje je izgradio čovjek) koji su njen dio ili se na njoj nalaze. Uporište za takav naziv nalazi se u terminologiji daljinskih istraživanja, jer pojam *scena* u toj terminologiji označava sve ono što se preslika posredstvom senzora i stvara snimku, a u Hrvatskom enciklopedijskom rječniku definira se, u razgovornom smislu, kao: *ono što se otkriva pogledu, što se prikazuje pred očima*. Novi je termin u duhu današnje tendencije da se u što većoj mjeri stereosatelitske snimke upotrebljavaju za izradu digitalnih modela Zemljine površine i onoga što se na njoj trenutačno nalazi, a zamijenio bi termin *digitalni model površine*, odnosno engleski termin *Digital surface model* (DSM) s kojim bi dijelio isti akronim.

U oba digitalna modela javlja se problem prikazivanja umjetnih pokretnih objekata (vozila, plovila) i u oba se modela ti objekti trebaju ukloniti.

## Literatura

- Altmaier, A., Kany, C. (2002): Digital surface model generation from CORONA satellite images, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56(4), 221–235.
- Anić, V., Brozović Rončević, D., Goldstein, I., Goldstein, S., Jojić, Lj., Matasović, R., Pranjković, I. (2002): *Hrvatski enciklopedijski rječnik*, Novi liber, Zagreb.
- Biswas, T., Pandey, K., Annadurai, R. (2016): Satellite Photogrammetry based DEM Generation using Satellite Stereo Pair Images and Terrain Parameters Extraction, *International Journal of Advances in Remote Sensing and GIS*, Vol. 4, No. 2, 64–76.
- Bonin, O., Rousseaux, F. (2005): Digital Terrain Model Computation from Contour Lines: How to Derive Quality Information from Artifact Analysis, *Geoinformatica*, Volume 9, Issue 3, 253–268.
- Burdeos, M. D. A., Makinano-Santillan, M., Amora, A. M. (2015): Automated building footprints extraction from DTM and DSM in ArcGIS, 36th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2015), Quezon City, Philippines, Volume 6, 4797–4802.
- Cayley, A. (1859): On contour and slope lines, *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Series 4, 18(20), 264–268.
- Čomić, L., De Florian, L., Magillo, P., Iuricich, F. (2014): *Morphological Modeling of Terrains and Volume Data*, SpringerBriefs in Computer Science.
- Dowman, I., Jacobsen, K., Konecny, G., Sandau, R. (2012): *High Resolution Optical Satellite Imagery*, Whittles Publishing, Dunbeath, UK.
- El-Sheimy, N., Valeo, C., Habib, A. (2005): *Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation and Applications*, Artech House, USA.
- Evans, I. S., Cox, N. J. (1999): Relations between land surface properties: altitude, slope and curvature, In: Hergarten, S., Neugebauer, H. J. (Eds.), *Process Modeling and Landform Evolution*, Springer Verlag, Berlin, 13–45.
- Förstner, W., Wrobel, B. (2016): *Photogrammetric Computer Vision – Statistics, Geometry, Orientation and Reconstruction*, Springer, Cham, Switzerland.
- Frančula, N., Lapaine, M. (2008): *Geodetsko-geoinformatički riječnik*, Državna geodetska Uprava, Zagreb.
- Gehrke, S., Morin, K., Downey, M., Boehrer, N., Fuchs, T. (2010): Semi-global matching: An alternative to LIDAR global matching: for DSM generation, *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Calgary, AB, 38 (B1) 6.
- Hengl, T., Evans, I. S. (2009): Chapter 2: Mathematical and Digital Models of the Land Surface, *Geomorphometry – Concepts, Software, Applications*, 31–63.
- Hirt, C. (2014): *Digital Terrain Models*, *Encyclopedia of Geodesy*, Springer International Publishing, Switzerland.
- Hohle, J. (2013): Generation of Land Cover Maps Using High-Resolution Multispectral Aerial Cameras, *GEOProcessing 2013: The Fifth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services*, February 24 – March 1, Nice, France, 133–138.
- Hua, Z. D., Chao, L. M., Jie, L. (2007): 3D integrated modeling approach to geo-engineering objects of hydraulic and hydroelectric projects, *Volume 50, Issue 3*, 329–342.

- Hutchinson, M. F., Gallant, J. C. (2000): Digital elevation models and representation of terrain shape, In: Wilson, J. P., Gallant, J. C. (Eds.), *Terrain Analysis: Principles and Applications*, Wiley, 29–50.
- Katzil, Y., Doztsher, Y. (2000): Height estimation for filling gaps in gridded DTM, *Journal of Surveying Engineering*, 126(4), 145–162.
- Kumler, M. (1994): An intensive comparison of triangulated irregular networks (TINs) and digital elevation models (DEMs), *Cartographica*, Vol. 31, Iss. 2, 1–99.
- Lazaridou, M. A., Patmios, E. N. (2012): Photogrammetry – Remote Sensing and Geoinformation, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B6, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 1 September, Melbourne, Australia, 69–71.
- Lemaire, C. (2008): Aspects of the DSM Production with High Resolution Images, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B4, Beijing.
- Li, Z. L. (1990): *Sampling Strategy and Accuracy Assessment for Digital Terrain Modelling*, Ph.D. Thesis, The University of Glasgow, Glasgow.
- Li, Z., Zhu, Q., Gold, C. (2005): *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*, CRC PRESS, Boca Raton, USA.
- Linder, W. (2016): *Digital Photogrammetry*, Springer, Netherlands.
- Ma, Z., Wu, X., Yan, L., Xu, Z. (2017): Geometric Positioning for Satellite Imagery without Ground Control Points by Exploiting Repeated Observation, *Sensors*, 17(2), 240.
- Ma, Z., Song, W., Deng, J., Wang, J., Cui, C. (2018): A Rational Function Model Based Geo-Positioning Method for Satellite Images without Using Ground Control Points, *Remote Sensing*, 10(2), 182.
- Maltarski, M. (2018): *Izrada digitalnog trodimenzionalnog prikaza scene upotrebom satelitskih stereo snimki*, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Maune, D. F. (Ed.) (2001): *Digital Elevation Model Technologies and Applications: DEM Users Manual*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, 539.
- Maxwell, J. C. (1870): On hills and dales, *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Series 4, 269, 421–427.
- Miller, C., Laflamme, R. A. (1958): The Digital Terrain modelling-theory and Applications, *Photogrammetric Engineering*, 24(3), 433–442.
- Oštir, K., Mulahusić, A. (2014): *Daljinska istraživanja*, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.
- Petrie, G., Kennie, T. (1987): An introduction to terrain modeling: applications and terminology, In: *Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering: A Short Course*, University of Glasgow, Glasgow.
- Qin, R. (2018): Analysis of critical parameters of satellite stereo images for 3D reconstruction and mapping, *ASPRS 2018 Annual Conference*, Denver Colorado, February 5–7, 6.
- Rana, S. (Ed.) (2004): *Topological Data Structures for Surfaces: An Introduction for Geographical Information Science*, Wiley, New York, 214.
- Scharstein, D., Szelinski, R. (2014): A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms, *International Journal of Computer Vision*, 47(1–3), 7–42.



- Schlaepfer, D. (2006): PARAmetric Geocoding, Orthorectification for Airborne Scanner Data, User Manual Version 2.3, ReSe Applications Schlaepfer and Remote Sensing Laboratories (RSL) of the University of Zurich, Zurich.
- Schneider, B. (2001): Phenomenon-based Specification of the Digital Representation of Terrain Surfaces, *Transactions in GIS*, 5(1), 39–52.
- Shaker, A., Yan, W. Y., Easa, S. (2010): Using Stereo Satellite Imagery for Topographic and Transportation Applications: An Accuracy Assessment, *GIScience & Remote Sensing*, 47(3), 321–337.
- Toutin, T. (2002): DEM from stereo Landsat 7 ETM + data over high relief areas, *International Journal of Remote Sensing*, 23(10), 2133–2139.
- Tsutsui, K., Rokugawa, S., Nakagawa, H., Miyazaki, S., Cheng, C.-T., Shiraishi, T., Yang, S.-D. (2007): Detection and Volume Estimation of Large-Scale Landslides Based on Elevation-Change Analysis Using DEMs Extracted From High-Resolution Satellite Stereo Imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1681–1696.
- Wechsler, S. P. (2007): Uncertainties Associated with Digital Elevation Models for Hydrologic Applications: A Review, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(4), 1481–1500.
- Weibel, R., Heller, M. (1991): Digital terrain modeling, In: Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (Eds.), *Geographical Information Systems*, Vol. 1, Longman, London, 269–297.
- Wilson, J. P. (2018): *Environmental Applications of Digital Terrain Modeling*, John Wiley & Sons Ltd.
- Zhu, H., Eastman, J. R., Toledano, J. (2001): Triangulated irregular network optimization from contour data using bridge and tunnel edge removal, *International Journal of Geographical Information Science*, 15(3), 271–286.

## Mrežne adrese

- URL 1: Državna geodetska uprava, Podaci topografske izmjere, Preuzeto iz: Državna geodetska uprava:  
<https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podaci-topografske-izmjere/168>, (5. 4. 2019.).
- URL 2: NGA Products & Services: Digital Terrain Elevation Data, National Geospatial-Intelligence Agency:  
<https://www.nga.mil/ProductsServices/TopographicalTerrestrial/Pages/DigitalTerrainElevationData.aspx>, (5. 4. 2019.).
- URL 3: Državna geodetska uprava, Pravilnik o topografskoj izmjeri i izradi državnih karata, NN 65/16, Narodne novine,  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016\\_07\\_65\\_1616.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_07_65_1616.html), (5. 4. 2019.).
- URL 4: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Statutes (2016),  
<https://www.isprs.org/documents/statutes16.aspx>, (12. 4. 2019.).
- URL 5: Satellite Imaging Corporation, Satellite Sensors,  
<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/>, (12. 4. 2019.).
- URL 6: Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža,  
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=61548>, (29. 4. 2019.).

# Digital Three-dimensional Representations of the Scene and Stereo Satellite Photogrammetry

*ABSTRACT.* Digital modeling of the Earth's surface by means of satellite stereophotogrammetry and remote sensing is carried out for the purpose of making a mathematically approximated surface that best suits it. The position and height of an individual point of the surface detail in relation to a reference point are determined and the interpolation between these points is visualized by the continuous approximate surface of the terrain within the design of the model. Nowadays, such models have a very wide application in different scientific disciplines and inadequate terminology. The paper presents an overview of foreign and Croatian terminology in which there is a lack of more precise definitions of terms that would clarify the semantic division of results in the process of digital modeling of the Earth's surface. In this regard, two new terms: Digital Soil Model and Digital Scene Model were presented in the paper for the purpose of a more precise definition of the terms of the Earth's surface digital models. A brief overview of today's possibilities of digital surface modeling in the satellite stereophotogrammetry and remote sensing is also presented in relation to the spatial resolution of stereo stereotapes and the method of providing stereoverlap between them.

*Keywords:* Earths surface, digital model, photogrammetry, satellite stereophotogrammetry, remote sensing.

*Primljeno / Received:* 2019-04-30

*Prihvaćeno / Accepted:* 2019-05-31