

koji su pogodni za određene države i lokalno raspoložive materijale, jedini realan način da se stanje tehničke regulative u ovoj oblasti unapredi jeste da se usvoje evropske norme i definišu odgovarajući nacionalni aneksi.

Međutim to se ne može raditi stihijski, već se moraju sagledati mogućnosti privrede – proizvođača građevinskog materijala i izvođača, kao i akreditovanih laboratorija, pogotovo u onim delovima gde se zahteva suštinska promena u pogledu karakteristika materijala i metoda ispitivanja i omogućiti određeni prelazni period kako bi se dalo vremena ovim subjektima za usklađivanje sa novim normama.

4. LITERATURA

- [1] *Council Directive on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products* 89/106/EEC (OJ L 40, 11.2.1989, p. 12)
- [2] *Mandate M124 to CEN/CENELEC concerning the execution of standardization work for harmonized standards on ROAD CONSTRUCTION PRODUCTS*, Evropska komisija, 1998. p.21
- [3] *Mandate M125 to CEN/CENELEC concerning the execution of standardization work for harmonized standards on AGGREGATES*, Evropska komisija, 1998. p.17

397

dr Branislav Bajat, dipl. geod inž., docent¹
Mileva Samardžić, dipl. geod inž.¹
Zoran Nedeljković, dipl. geod inž.¹

DIGITALNI MODELI TERENA KAO PODLOGE ZA PROJEKTOVANJE U GRAĐEVINARSTVU

0352-2733,42 (2009),p. 399-453

UDK: 551.4 : 528.94] : 624
PREGLEDNI NAUČNI ČLANAK

Rezime

Koncept i tehnologija izrade digitalnih modela terena (DMT) poslednjih godina sve više zaokuplja pažnju mnogobrojnih korisnika ovakve vrste prostornih podataka. Osim što je načinjen veliki pomak u pojavi novih tehnologija za prikupljanje podataka na terenu koje su omogućile dobijanje visoko kvalitetnih baza podataka o reljefu, formirano je i tržište na kojem se nudi široka lepeza ovakvih proizvoda. Ovakve baze podataka zahtevaju i razvoj metoda i postupaka koji će omogućiti ocenu njihovog kvaliteta.

U radu je dat osvrt na savremene tehnologije prikupljanja podataka za potrebe izrade DMT-a, kao i mogu-

¹ Institut za Geodeziju i Geoinformatiku, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Rad primljen septembra 2009.

399

- [4] CEN/TR 15352:2006 *Bitumen and bituminous binders – Development of performance-related specifications: status report 2005*
- [5] *BitVal – Analysis of Available Data for Validation of Bitumen Tests*, Report on Phase 1 of the BitVal project, FEHRL
- [6] DELORME J.L., ROSE C.D.L., WENDLING L. *LCP Bituminous Mixture Design Guide*, LCPC, Paris, 2007. p.198

398

ćnosti korišćenja ovakvih proizvoda s aspekta njihovog kvaliteta, i s posebnim osvrtom na primenu DMT-a u građevinarstvu.

Ključne reči: digitalni modeli terena, tačnost, građevinarstvo, geografski informacioni sistemi.

DIGITAL TERRAIN MODELS AS TOPOGRAPHIC LAYOUTS FOR CIVIL ENGINEERING DESIGN

Abstract

The concept and the production of Digital Terrain Models (DTM) has drawn a lot of attention of spatial data users. In addition to numerous improvements that were made in data collection technologies, big market with wide diapason of DTMs products was established. For this reason, it is necessary to develop methods and procedures that would enable quality assesment of these data bases.

In this paper the review of conteporary spatial data aquisition technologies for DTM production is given, as well as the possibilities of usage of DTM, especially in civil engineering applications.

Key words: digital terrain models, accuracy, civil engineering, geographic information systems.

400

1. UVOD

Koncept digitalnih modela terena prvi put se pominje u radu Miller-a i Laflamme-a [23] baziranom na rezultatima koje je profesor geodezije i šef laboratorije za fotogrametriju na MIT-u Charles L. Miller ostvario razvojem skupa programskih modula nazvanih Digital Terrain Model System. Njegova osnovna namena je praktično ležala u projektovanju sobračajnica (proračunu zemljanih radova, i projektovanju osovine saobraćajnica u prostoru). U svom pionirskom radu autori su na osnovu poprečnih profila pokušali da definišu teren. U narednoj deceniji koncept i tehnologija DMT-a biće ograničen na primene koje se odnose na automatizaciju projektovanja u građevinarstvu.

Ekspanzija primene i razvoja DMT-a usledila je razvojem kompjuterske tehnologije, kao i saznanjem da ovaj koncept nudi novi pristup u prezentovanju i vizuelizaciji podataka o reljefu i da, kao takav, može imati primenu u različitim oblastima.

Iz jedne od definicija DMT-a sledi da je "DMT numerička i matematička predstava terena dobijena korišćenjem odgovarajućih visinskih i položajnih merenja, kompatibilnih u gustini i rasporedu sa terenom, tako da visina bilo koje tačke na obuhvaćenom terenu može automatski da se dobije interpolacijom uz odgovarajuću tačnost" [4]. Iz priložene definicije mogu se uočiti dve najvažnije komponente DMT-a:

401

"Digitalni modeli terena su jednostavna statistička predstava kontinualne površi terena uz pomoć velikog broja izabranih tačaka sa poznatim prostornim koordinatama u proizvoljnom koordinatnom sistemu". Od tada pa do današnjih dana u literaturi su se pojavili i drugi termini koji su opisivali iste ili slične proizvode. Tako se sreću nazivi kao što su: Digitalni Elevacioni Model⁵, Digitalni Model Visina⁶, Digitalni Zemljišni Model⁷, itd. [27]. Iako na prvi pogled izgleda da se radi o sinonimima, navedeni termini odnose se na potpuno različite proizvode.

Pod terminom *Digital Terrain Model* (DTM) podrazumevaju se baze sa TIN⁸ strukturom podataka, koju čine nepravilno raspoređene, najčešće originalno merene tačke na terenu, koje predstavljaju temena mreže nepravilnih nepreklapajućih trouglova [17]. Stranice trouglova su formirane na osnovu Delaunay-eve⁹ triangulacije (Slika 1), odnosno postupkom spajanja težišta susednih Thiessen-ovih poligona. Dobijeni trouglovi su obično ravanski. TIN struktura podataka obavezno podrazumeva i dodatne strukturne linije terena kao zasebne entitete.

Pojam *Digital Elevation Models* (DEM) podrazumeva podatke o terenu u obliku matrice visina terena. Ona se često naziva gridnom (rešetkastom) strukturom podataka

⁵ *Digital Elevation Model*(DEM) (eng.)

⁶ *Digital Height Model*(DHM) (eng.)

⁷ *Digital Ground Model* (DGM) (eng.)

⁸ *Triangulated Irregular Network* (skr.)

⁹ DELONE Boris Nikolaevich (1890-1980) ruski matematičar

403

- 1) skup reprezentativnih tačaka, memorisanih u bazi, koje predstavljaju površ terena,
- 2) algoritmi za interpolaciju novih tačaka.

Obe komponente su u uzajamnoj sprezi, pošto način organizacije podataka određuje algoritme za interpolaciju i obrnuto.

Sedamdesetih godina prošlog veka interes istraživača koji su se bavili razvojem koncepta DMT-a bio je najviše usmeren na izbor optimalne interpolacione metode. Međutim, pojavom softverskih paketa baziranih na različitim algoritmima za interpolaciju, koji su davali gotovo identične rezultate, težište se polako prebacuje na drugi segment, a to su podaci koji čine ove baze [2].

U isto vreme pojavljuju se i nove tehnologije za masovno prikupljanje ovakve vrste podataka, kao što su digitalna fotogrametrija, LIDAR², InSAR³, i GPS⁴. Tačnost i ekonomičnost merenja, kvalitet baza podataka, njihovo testiranje i verifikacija, kao i način prezentacije informacija o kvalitetu postaju glavna tema istraživanja i razvoja koncepta DMT-a.

2. DIGITALNI MODELI TERENA

U gore pomenutom radu Miller-a i Laflamme-a data je prva definicija za DMT koja je i danas aktuelna:

² *Light Detection And Ranging* (skr.)

³ *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (skr.)

⁴ *Global Positioning System* (skr.)

402

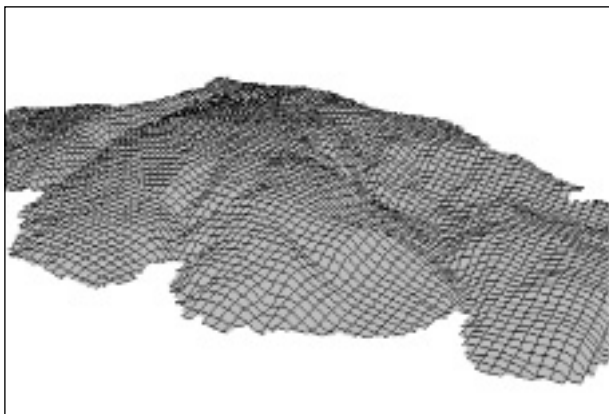


Slika 1.- Mreža prostornih trouglova dobijena Delaunay-vom triangulacijom

(slika 2). Gridne ćelije su obično u obliku kvadrata čija temena predstavljaju visinske tačke, a stranice su paralelne sa osama koordinatnog sistema. Vrednosti visina gridnih tačaka najčešće su dobijene interpolacijom merenih podataka. Prednost ovakvih modela podataka je njihova jednostavna struktura koja omogućava lakšu manipulaciju, dok je u slučaju TIN strukture glavna prednost vernija predstava terena.

Što se tiče naše prakse u početku su se pojavljivali različiti termini kao što su na primer Numerički Model Zemljišnih Oblika (NMZO) ili Numerički Model Reljefa (NMR), a danas se koristi isključivo termin Digitalni Modeli Terena. On praktično obuhvata sve produkte ovog tipa, bez obzira na organizaciju i strukturu podata-

404



Slika 2.- Digitalni model terena sa gridnom strukturom podataka

ka. U novom *Zakonu održavnom premeru i katastru*, u uvodnim odredbama ovaj termin se definiše kao trodimenzionalni prikaz matematički definisanog modela reljefa. S obzirom na to da zvanično u našoj praksi nije ponuđen ni jedan drugi termin, on se koristi i u slučaju TIN i gridnih struktura podataka. Kao mogući naziv za podatke organizovane u obliku grida trebalo bi ustanoviti termin Digitalni model visina. U poslednje vreme u praksi, se sve više koristi novi proizvod koji se dobija savremenim tehnologijama prikupljanja geometrijskih podataka o

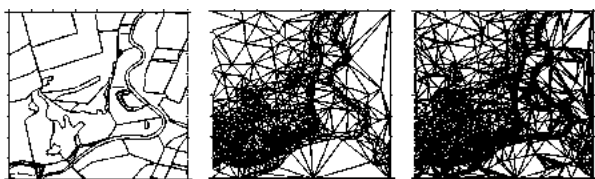
405

tematiku i podatke kojima se bavi, ispravnije bilo koristiti termin Prostorni informacioni sistemi (PIS). Jedan od značajnih segmenata PIS-a su i Topografski informacioni sistemi (TIS).

Digitalni modeli terena (DMT) predstavljaju osnovnu komponentu prostorne baze podataka koja je vezana za prikaz oblika reljefa i kao takvi takvi čine najvažniji segment TIS –a.

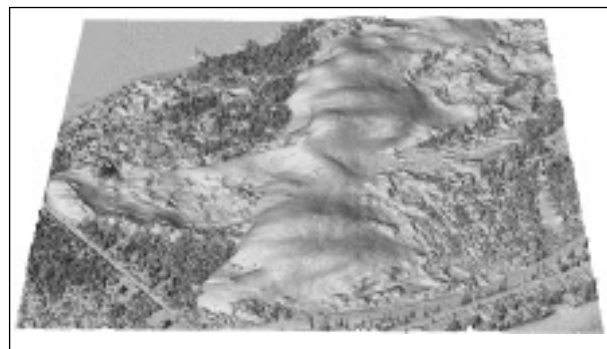
U GIS okruženju podaci o reljefu dati su kao klase objekata (tačke, izohipse, strukturne linije itd.), čije visine predstavljaju atribute prostornih entiteta koji karakterišu teren. Tako se DMT, dat u obliku grida, najčešće koristi u rasterskim GIS aplikacijama, dok DMT sa TIN strukturama se obično kombinuje sa drugim podacima koji su u vektorskom obliku.

Danas prisutne tendencije u razvoju GIS aplikacija su korišćenje integrisanih softverskih paketa koji omogućavaju korisniku istovremenu GIS manipulaciju podataka, obradu aerofotogrametrijskih i satelitskih snimaka i digi-



Slika 4.- 2D GIS podaci (levo), DTM-TIN (sredina), 2.5D integrisani model (desno) [10]

407



Slika 3.- Digitalni model površi

prostoru (LIDAR, SAR) a to je Digitalni modeli površi¹⁰ (slika 3), koji sem visina terena sadrži visinske podatke i o svim prirodnim i antropogenim objektima koji se na njemu nalaze (drveće, putevi, zgrade, itd.).

3. DMT KAO KOMPONENTA GIS-A

Sredinom šezdesetih godina prošlog veka počinje i razvoj tehnologije Geografskih Informacionih Sistema (GIS). Engleski termin *Geographic Information System*, vrlo brzo je postao opšte prihvaćen, iako bi s obzirom na

¹⁰ *Digital Surface Model (engl.)*

406

talno modelovanje terena, bez napuštanja jedne, prilikom prelaska u drugu aplikaciju.

U današnje vreme najveći broj GIS proizvoda je po svojoj prostornoj strukturi dvodimenzionalno (2D) orijentisan. Razlog leži u tome što su digitalizovane i skenirane karte i planovi praktično bili najdostupniji izvor za geopozicioniranje podataka. Planimetrijska struktura ovih izvora uslovala je da i GIS baze budu dvodimenzionalno referencirane. Korišćenje DMT podataka omogućilo je korak napred. Razvijene su 2.5D GIS aplikacije, u kojima su prostornim entitetima visine pridodate kao atributi. U vektorskim GIS aplikacijama 2D podaci su integrisani sa TIN bazama (slika 4), dok se u slučaju rasterskih GIS aplikacija podaci o visinama koriste iz gridnih struktura DMT-a.

U današnje vreme pojavljuju se i prve 3D GIS baze u kojima sve klase podataka imaju pored planimetrijskih koordinata i treću (visinsku) komponentu. Ovakve baze podataka zahtevaju drugačiju topološku strukturu podataka u odnosu na postojeće modele podataka. Semantička tačnost ovakvih baza podataka proverava se ne samo horizontalnom, već i vertikalnom topologijom podataka. 3D aplikacije se u ovom trenutku nalaze još u fazi razvoja modela podataka.

4. GEOMORFOLOŠKI PARAMETRI

Topografski atributi ili geomorfološki parametri predstavljaju "numerički opis kontinualne površi tere-

408

na” [31]. Oni se mogu podeliti na primarne topografske atribute koji se računaju direktno iz DMT-a, i složene ili sekundarne atribute, koji sadrže kombinaciju primarnih atributa i konstituišu fizički bazirane ili empirijski izvedene indekse, koji mogu okarakterisati geomorfološke procese, a koji se odvijaju prilikom formiranja reljefa i zemljišnih oblika [24].

Kao primarni topografski parametri izdvajaju se veličine koje karakterišu bilo koju dvodimenzionalnu površ. To su:

- nagib,
- aspekt¹¹,
- horizontalna (planarna) zakrivljenost terena,
- vertikalna (profilna) zakrivljenost terena.

Nagib i aspekt terena definišu gradijent terena koji predstavlja vektor koji pokazuje pravac najvećeg rasta skalarnе funkcije $z=f(x,y)$, a čije su komponente jednake parcijalnim izvodima u pravcu x i y koordinatnih osa. Nagib terena predstavlja magnitudu ovog vektora ili intenzitet promene visine u pravcu najveće kosine, a aspekt terena je orijentacioni ugao horizontalne projekcije ovog vektora, odnosno linije najveće kosine terena [12]. Aspekt se može definisati i kao orijentacioni ugao (azimut) pravca najvećeg pada terena. Određuje se od pravca se-

¹¹ *aspect (engl.), u našoj literaturi u široj upotrebi je i termin ekspozicija terena*

do današnjih dana digitalni modeli terena polako zauzimaju svoje mesto u sve većem broju tehničkih disciplina i drugim delatnostima, potiskujući polako konvencionalne metode prikazivanja reljefa, kao što su topografske karte i planovi.

Organizacija podataka u bazama kao što su digitalni modeli terena, omogućila je i primenu novih tehnologija, pa čak i promene u pristupu i metodologiji rešavanja problema u disciplinama u kojima se oni koriste.

Neke od oblasti u kojima se koriste DMT su:

Inženjerske discipline generalno:

- Izrada modela dogledanja,
- Trodimenzionalni modeli terena za potrebe izrade 3D projekata.

Građevinarstvo i to posebno hidrotehnika i projektovanje saobraćajnica i komunikacija:

- Prostorno i vremensko modeliranje i prezentacija slivova, zasićenosti zemljišta vodom i predviđanje poplavnih područja,
- Modeliranje i prezentacija isparavanja,
- Prognoziranje snežnih nanosa i otapanja snega,
- Automatizacija određivanja i kartiranja drenažne mreže i slivnih područja.
- 1D i 2D hidrauličko modeliranje.
- 3D projektovanje saobraćajnih komunikacija i pratećih inženjerskih objekta (mostova, tunela itd.)

Urbanizam i arhitektura:

- 3D Vizuelizacija urbanističkih projekata,
- Pejsažna arhitektura.

vera do pravca najvećeg pada terena, mereno u pravcu kretanja skazaljke na satu.

Zakrivljenost (konveksnost) površi terena predstavlja brzinu promene nagiba i aspekta terena u određenim pravcima. Zakrivljenost profila terena je vertikalna komponenta zakrivljenosti terena i predstavlja brzinu promene nagiba duž podužnog profila, dok je zakrivljenost horizontalne projekcije terena brzina promene aspekta duž izohipse terena. Ukoliko se površ terena posmatra kao funkcija $z=f(x,y)$, čiji su argumenti položajne koordinate tačaka, nagib i aspekt terena mogu se matematički definisati kao izvodi prvog reda, a zakrivljenost terena kao izvod drugog reda po određenim pravcima. Analitički je moguće izvesti i izvode višeg reda, ali oni nemaju nikakvo geomorfološko značenje.

Gridna struktura podataka o visinama terena čini DMT polaznom bazom podataka pogodnom za računanje topografskih parametara koji se koriste u kvantitativnim geomorfološkim analizama (geomorfometriji). Primarni topografski parametri (nagib, aspekt, vertikalna i planarna zakrivljenost terena) koriste se kao polazni podaci u mnogobrojnim inženjerskim primenama i analizama (građevinarstvo i to posebno u hidrologiji i saobraćajnicama, potom ekologija, šumarstvo itd.).

5. PRIMENA DIGITALNIH MODELA TERENA

Od prvih inženjerskih primena u oblasti projektovanja saobraćajnica sredinom pedesetih godina prošlog veka

Agronomija i proučavanje zemljišta:

- Prognoziranje i kartiranje vlažnosti zemljišta, sastava organskih materija, debljine zemljišnih slojeva (pedometrija),
- Kartiranje zemljišnih klasa,
- Prognoziranje distribucije pesticida i drugih sredstava zaštite biljaka (precizna agronomija),
- Prognoziranje i kartiranje salinizacije zemljišta,
- Prognoziranje i kartiranje rizika od erozije.

Geomorfologija:

- Kvantitativna klasifikacija oblika reljefa,
- Fraktalni modeli reljefa i drenažne mreže.

Geologija:

- Potvrda prstenastih struktura, raseda i drugih geoloških struktura, dobijenih drugim geološkim metodama,
- Trodimenzionalni modeli geološke građe.

Geobotanika i šumarstvo:

- Kartiranje vegetacije.

Glaciologija:

- Prognoziranje i modeliranje otapanja glečera,
- Modeliranje pomeranja lednika.

Zaštita životne sredine:

- Predviđanje i prezentacija pomeranja i akumulacije otpadnih materija i agenasa.

Prirodne nepogode:

- Prognoziranje i prezentacija rizika klizanja zemljišta,

- Prognoziranje i prezentacija rizika bujičnih nanaosa.

Klimatologija:

- Modeliranje i vizuelizacija osunčanosti,
- Modeliranje i vizuelizacija mrazeva,
- Modeliranje i vizuelizacija režima vetrova.

Vojna oblast:

- Optimizacija putanja za kretanje borbenih sredstava,
- Simulacija borbenih letova,
- Procena dogledanja meta.

Daljinska detekcija:

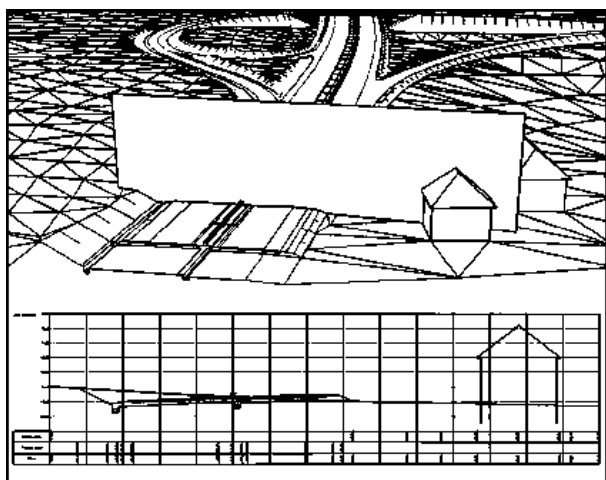
- Poboljšanja analize avio i satelitskih snimaka u kombinaciji sa DMT-om,
- Topografske korekcije avio i satelitskih snimaka,
- Kombinovana obrada snimaka i DMT-a u cilju korekcije geometrijske distorzije snimaka.

GIS:

- Izrada 2.5D baza podataka,
- Izrada 3D baza podataka.

U mnogim od ovih primena DMT ne služi samo kao obična baza visina terena. U raznim disciplinama topografski parametri dobijeni iz DMT predstavljaju polazne projektne parametre u odlučivanju i analizama. Tu posebno treba istaći ekološke discipline, hidrologiju, agronomiju, šumarstvo, klimatologiju, geobotaniku i dr.

413



Slika 5.- DMT sa projektovanom saobraćajnicom i generisanim poprečnim profilom (*GAVRAN – Civil Modeller software*)

drogradnje, preko projektovanja konstruktivnih objekata poput mostova, podzemnih objekata, pa i u projektovanju zgrada.

Ovakva organizacija podataka o reljefu omogućuje interaktivno 3D projektovanje. S druge strane nivo vizuelizacije projektnih rešenja je značajno unapređen. 3D modeli projekta, a istovremeno i 2D prikazi po zadatim preseccima se mogu veoma lako generisati (*slika 5*).

415

Na osnovu rezultata sveobuhvatne ankete [30] koja je sprovedena među korisnicima ove vrste proizvoda širom sveta (u njoj su učestvovali i firme iz naše zemlje), DMT podaci se najviše koriste u upravljanju prirodnim resursima (24%), zatim u hidrotehnici i hidrologiji (13.5%), potom u prostornom planiranju (10.5%), projektovanju (9%), šumarstvu (6.6%), saobraćaju (4.2%), u vojne svrhe (3.0%), komunalnim sistemima (2.7%). Većina od gore navedenih delatnosti može se podvesti ili je u uskoj vezi sa širim pojmom građevinarstva i infrastrukture.

6. PRIMENA DTM-A U GRAĐEVINARSTVU

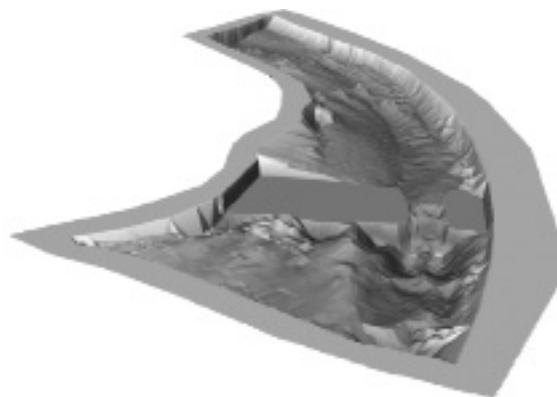
Profesor Miller sa MIT-a koji se smatra rodonačelnikom DMT koncepta, takođe je odigrao značajnu ulogu u razvoju COGO¹² sistema koji su praktično postavili temelj kompjuterskom projektovanju u građevinarstvu. COGO alati razvijeni u okviru ICES¹³ kao prostornu osnovu za 3D projektovanje imali su podatke organizovane u vidu DMT-a. Prve aplikacije bazirane na DMT podacima bile su namenjene projektovanju saobraćajnica, pa je i prvi sveobuhvatni softver za kompjutersko projektovanje razvijen 1966 godine, korišćen za te svrhe [19].

Danas se DMT primenjuje u svim granama građevinarstva, od projektovanja saobraćajnih komunikacija, hi-

¹² *Coordinate Geometry (skr.)*

¹³ *Integrated Civil Engineering System (engl)*

414



Slika 6.- Digitalni model rečnog dna (*srušeni Železjev most na Dunavu, Novi Sad*)

U poslednje vreme u prvi plan je izbila upotreba DMT u hidroinženjerstvu. Posebno su interesantni primeri primene DMT u generisanju karata rizika poplava, gde ovakva vrsta proizvoda predstavlja nezaobilazne ulazne podatke. Posebno su interesantni digitalni modeli površi koji sadrže i podatke o veštačkim i prirodnim objektima, što je od velikog značaja u proceni šteta. Takođe je interesantna i primena u hidrauličkom modeliranju. Najnovije generacije instrumenta za batimetrijsko snimanje koji su integrisani sa GPS prijemnicima omogućavaju veoma precizno i detaljno snimanje vodnog dna. To je rezultovalo i razvojem posebnih softverskih modula za generi-

416

sanje DMT-a vodnog dna koji se nalaze ispod vodenih površina (slika 6).

Za potrebe projektovanja neophodno je imati što verniju predstavu terena, što je TIN strukture izbacilo u prvi plan kad su u pitanju aplikacije u građevinarstvu. Najveći nedostatak gridnih struktura je što se u slučajevima grube rezolucije (velikog rastojanja između tačaka u matrici visina) gube geomorfološki oblici malih dimenzija koji često mogu biti važni kod krajnjih projektnih rešenja. Takođe je problem što vrednosti visina tačaka u gridu nisu inicijalno merene već dobijene interpolacijom.

I pored toga DMT-ovi sa gridnim strukturama imaju svoju primenu, posebno u fazama izrade studija, ili i u slučajevima korišćenja podataka koji su takođe rasterske strukture (satelitski snimci, ortofoto planovi, skenirane podloge, itd.). Veoma je značajna i pojava DMT podataka koji pokrivaju celu Zemlju i dostupni su na Internetu, o čemu će biti detaljno reči u nastavku ovog rada.

Opređeljujući faktor za izbor odgovarajućeg DMT-a za korsnike ovakvih podataka, svakako je kvalitet, odnosno zahtevana tačnost koja je neophodna za izradu projekta.

7. ZAHTEVI ZA TAČNOŠĆU DMT-A

Primena DMT-a u različitim inženjerskim oblastima i različitim fazama izrade projektne dokumentacije (studije, idejni projekti, glavni projekti) zahteva i različite nivoe njihove tačnosti. Interesantna je na primer oblast predviđanja poplavnih područja i mogućih rizika. U stu-

417

bu odgovarajućeg hardvera, programskih paketa i procedura [6]. Svrha postojanja izveštaja o kontroli kvaliteta je da obezbedi korisniku proizvoda detaljne informacije uz pomoć kojih će proceniti njegovu pogodnost za određenu namenu [25].

Tačnost DTM-a je od interesa kako za korisnike tako i za one koji se bave njihovom produkcijom. Na 14. Kongresu ISPRS-a u Hamburgu 1980. godine usvojena je rezolucija po kojoj je kao glavni zadatak usvojeno istraživanje na polju prikupljanja podataka, primene interpolacionih metoda i tačnosti DMT-a¹⁵. To je bila i glavna tema rada III Komisije ISPRS-a, sve do 1988, kada je na 16. Kongresu ISPRS-a prof. Kubik podneo izveštaj tvrdeći da su osnovni problemi koji se odnose na ocenu tačnosti DMT rešeni. Otada je rad na oceni tačnosti DMT-a zamro u okviru aktivnosti ISPRS-a. Rad je nastavila OEEPE¹⁶ koja je na sastanku marta 1992 u Bazelu odlučila da formira posebnu radnu grupu, koja će nastaviti rad na oceni tačnosti različitih modela podataka DMT, s posebnim osvrtom na DMT proizvode koji se koriste u inženjerstvu.

Većina ovih istraživanja je obavljena pod pokroviteljstvom ISPRS-a, koji je svim učesnicima obezbedio podatke sa šest geomorfološki različitih test područja sa

¹⁵ International Society for Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (skr.)

¹⁶ European Organization for Experimental Photogrammetric Research (skr.)

419

dijama za procenu poplavnih područja na osnovu instrukcija koje je propisala američka FEMA¹⁴, od digitalnog modela terena zahteva se tačnost od $\pm 15cm$. U Holandiji, u kojoj postoje ogromna područja izložena potencijalnim poplavama, zahtevana tačnost iznosi $\pm 30cm$. Ova tačnost odgovara visinskoj tačnosti topografskih planova razmere 1: 1 000. Prema tome, u ravničarskim područjima izloženim velikom riziku od poplava potreban je viši nivo tačnosti digitalnih modela terena. Opšte preporuke tačnosti kreću se od $\pm 15cm$ za ravničarske predele sa srednjim nagibom terena do 1%, a $\pm 30cm$ za sva ostala područja koja su izložena riziku od poplava [14]. Slični zahtevi se postavljaju u oblasti urbanizma i projektovanja za područja sa intenzivnom gradnjom. Navedeni zahtevi za tačnošću DMT-a su vrlo visoki i zahtevaju primenu novih tehnologija za masovno prikupljanje podataka o visinama terena. Za brdovite terene i terene koji nisu područja sa intenzivnom gradnjom, zahtevana tačnost DMT-a, odgovarala bi tehničkim normativima karata razmera 1:5000 i 1:10000.

8. ANALIZA KVALITETA DIGITALNIH MODELA TERENA

Kontrola kvaliteta DMT-a je sastavni deo procesa njegove izrade i podrazumeva projektni zadatak i upotre-

¹⁴ Federal Emergency Management Agency (skr.)

418

teritorije zapadne Evrope. Podaci su dobijeni fotogrametrijski sa različitim razmerama snimanja. Tada je prvi put uveden i pojam "istinitog" terena, odnosno podataka o visinama tačaka koje su više tačnosti, odnosno višeg hijerarhiskog nivoa.

Rezultati obrada ovih podataka od strane mnogobrojnih učesnika širom sveta značajni su posebno sa stanovišta ocene tačnosti merenih podataka fotogrametrijskom metodom koja se tada nametnula kao vodeća metoda u prikupljanju podataka za potrebe izrade DMT. Generalni zaključci koji su vezani za primenu fotogrametrijske metode su sledeći:

- Standardna greška visina fotogrametrijski izrađenih DMT-a je u rasponu od 0.2 do 0.4% visine leta za ravne i brežuljkaste terene. U brdovitim terenima ona iznosi oko 1-2%. Maksimalna greška je oko 4-8 puta veća od standardne greške.
- Broj grubih grešaka koje se pojavljuju u procesu fotogrametrijskog merenja je u rasponu od 0% do 3%, gde je 0.5% najčešća vrednost. Ovakve greške se pojavljuju češće kod "težih" terena, s time da je većina ovih grešaka nezavisna u odnosu na tip terena.
- Tačnost DTM-a raste sa povećanjem gustine merenih tačaka.
- Primene navedenih modela *a priori* ocene tačnosti pokazale su da rezultati dobijeni njihovom primenom daju prilično optimističke ocene u odnosu na rezultate dobijene iz *a posteriori* ocene.

420

Poslednji navedeni zaključak imao je i presudnu ulogu u tome da modeli koji su razvijani za potrebe prethodne ocene tačnosti nisu doživeli široku upotrebu kao sastavni delovi programskih paketa za izradu DMTa. Osnovna ideja njihove primene je da se sprovede prethodna ocena tačnosti kvaliteta DMT-a, a samim tim i postavte projektni parametri izrade DMT-a.

9. NAGIB TERENA KAO ZNAČAJNI PARAMETAR U ANALIZI KVALITETA DMT-A

Paralelno sa razvojem modela za prethodnu ocenu tačnosti prof. Akerman sa Univerziteta u Štutgartu radio je sedamdesetih godina prošlog veka prve eksperimente sa modelima visoke rezolucije za inženjerske objekte. On je došao do linearne zavisnosti između tačnosti DMT-a i gustine merenih tačaka iskazane formulom [3]:

$$\sigma_z^2 = \beta^2 + (\alpha \kappa d)^2 \quad (1)$$

gde je:

σ_z - srednja kvadratna greška interpolovane visine,

α - faktor koje se odnosi na karakteristike terena,

d - srednje rastojanje između merenih tačaka,

β - standard merenja ulaznih podataka.

Vrednosti za parametar α do kojih je prof. Akerman došao su:

$\alpha = 0.004$ za ravničarske i terene sa blagim nagibima

421

že korigovati. Pojam greške se vezuje za odstupanje od istinite vrednosti. U GIS analizama, u kojima se koriste prostorni podaci, ne postoji način da se dođe do istinitih vrednosti. Nepoznavanje istinite vrednosti i pouzdanosti merenih vrednosti iskazuje se nesigurnošću¹⁷. Zato je termin *nesigurnost* DMT-a, prihvaćen kao sveobuhvatniji, jer se odnosi na meru opsega vrednosti visina terena u određenoj tački, od kojih svaka od njih može biti prihvatljiva, i može biti rezultat primene određenih metoda merenja kao i metoda interpolacije.

Za ovu problematiku interesantni su rezultati već navođene anketa [30]. Anketa je obuhvatila 200 učesnika (firmi i institucija) iz 25 zemalja širom sveta. Pored pitanja kog profila su korisnici ovih podataka i u koje se svrhe oni koriste, glavna pitanja bila su usmerena i na to da li korisnici u svom radu uzimaju u obzir kvalitet, odnosno, *nesigurnost* DMT-a, i koliko pažnje poklanjaju ovom problemu.

Na pitanje da li prilikom korišćenja DMT podataka vode računa o njihovom kvalitetu, odnosno da li u svom radu uzimaju u obzir i *nesigurnost* DMT-a potvrdno je odgovorilo samo 22% učesnika ankete, da ponekad vode računa o tome 27% anketiranih, dok 27% o tome nisu nikada ni razmišljali (slika 7).

Generalni zaključak je da korisnici DMT proizvoda u najvećem broju nisu svesni činjenice da se ovakvi podaci

$\alpha = 0.010$ za "srednje" terene.

$\alpha = 0.022$ za "teške" terene.

Iako specifikacija atributa za terene nije data eksplicitno, formula (1) ima vrlo praktičnu upotrebu kod DMT-a visoke rezolucije [26].

Još početkom dvadesetog veka nemački geodeta Kopp je postavio formulu za zahtevanu visinsku tačnost izohipsi na kartama i ona glasi:

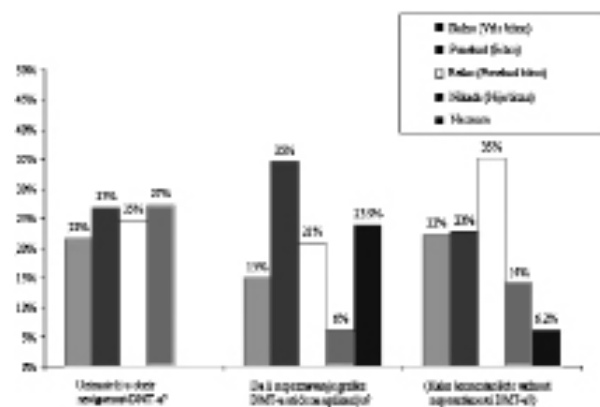
$$\sigma_p = \pm(d + B \times \tan S) \quad (2)$$

gde su A i B konstante koje zavise od razmere i zahtevane tačnosti karte, a S nagib terena. Ova formula i danas figuriše u kartografskim standardima širom sveta [27]. Njena vrednost je u tome što je prvi put jasno uočeno da je tačnost prikaza visina u direktnoj korelaciji sa nagibom terena.

10. STANDARDI ZA OCENU KVALITETA DMT-A

Primena DMT-a u raznim delatnostima rezultovala je potrebom za izradom izveštaja o kvalitetu DMT, u cilju obezbeđivanja detaljne informacije korisnicima na osnovu kojih će biti moguća ocena pogodnosti DMT podataka za mnogobrojne primene. S jedne strane, termin "kvalitet DMT-a" je suviše uopšten, dok s druge strane termin "greška visina u DMT-u" ima negativnu konotaciju, s obzirom na to da se "greška" odnosi i na nešto što se mo-

422



Slika 7.- Grafikon rezultata ankete sprovedene među korisnicima DMT proizvoda [30].

ne mogu smatrati apsolutno tačnim, i da zbog toga utiču na pouzdanost rezultata analiza, projekata, istraživanja i drugih delatnosti u kojima su korišćeni.

Širom sveta poznat je USGS (United States Geological Survey) standard za nacionalne visinske baze podataka koji se koristi prilikom izrade izveštaja o kvalitetu DMT. Korisnici DMT i danas koriste srednju kvadratnu grešku visina predloženu USGS standardom, kao osnovnu meru za kvalitet DMT-a. Ona se po pravilu računa na osnovu razlika visina tačaka u DMT-u i visina određenog skupa kontrolnih tačaka koje su određene metodama su-

424

¹⁷ *uncertainty* (eng.)

423

perionije tačnosti. Ovakvi podaci se u svetu distribuiraju uz DMT baze podataka u okviru *meta* baze podataka DMT-a.

10.1 Tačnost topografskih karata

S obzirom da postojeći kartografski materijal predstavlja nepresušni izvor podataka za izradu DMT baza podataka putem njihove digitalizacije, svakako je bitno naznačiti standarde i procedure koji se koriste za ocenu tačnosti kartografskog materijala. Najinteresantnija je tačnost geometrijskih informacija koje karte nose sa sobom. Ona zavisi od kvaliteta matematičkih elemenata karte (projekcije, razmere), kvaliteta baze premera (geodetske mreže), metode prikupljanja podatka (tahimetrija, fotogrametrija, GPS snimanje), vrste i kvaliteta mernih instrumenta, a potom i od pribora i materijala, tehnoloških postupaka kartografske obrade i reprodukcije tehnike pripreme, kao i od deformacija listova koje nastaju u periodu njihove eksploatacije. Prema tome, geometrijska tačnost karte zavisi od tačnosti premera i tačnosti kartografsko-reprodukcijских radova.

Ekspanzija kartografske produkcije u toku 20. veka dovela je i do pojave standarda koji bi trebalo da posluže za verifikaciju kvaliteta kartografskih proizvoda. Na žalost, u našoj kartografskoj praksi normativi ovoga tipa nisu nikada razvijani.

425

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}} \quad (3)$$

gde je:

d_i - razlika visine dobijene interpolacijom sa karte i visine sa terena $d_i = z_{int} - z_i$

n - ukupan broj test tačaka.

Za visinsku tačnost dozvoljena RMSE je iznos od jedne trećine ekvidistance osnovne izohipse na topografskoj podlozi za jasno uočljive tačke, odnosno jednu šestinu vrednosti ekvidistance za tačke koje su kartirane sa pikirom i kotom. Numerički se to može prikazati vrednostima u tabeli (tabela 1). Vrednosti razlika koje prelaze

Tabela 1. - Visinska tačnost kartografskih podloga u funkciji ekvidistance [7].

Tačnost u vidlinom snimku	
Ekvidistance (m)	Dozvoljena RMSE (m)
0.05	0.015
0.10	0.03
0.30	0.13
1.0	0.30
2.0	0.61
2.5	0.76
5	1.52
10	3.04

427

Među najpoznatije standarde ovog tipa mogu se ubrojiti najviše citirani i u praksi i istraživanjima najčešće korišćeni, Američki Standardi za krupno razmerne topografske karte [22]. Ovi standardi razvijeni su pod pokroviteljstvom komiteta za standarde ASPRS-a¹⁸ sredinom 80-tih godina prošlog veka. Oni se odnose na krupno-razmerne topografske karte koje su namenjene za inženjerske potrebe. Ovaj dokument je značajan pošto je po svom sadržaju i metodologiji predstavljao osnovu za razvoj budućeg standarda za ocenu kvaliteta DMT.

Takođe su veoma važne i sledeće odrednice tog dokumenta:

- Prostorna tačnost prezentuje se u prirodnoj veličini,
- Za meru tačnosti je uzet moment drugog reda (RMSE¹⁹),
- Specificirana je i procedura za analizu kvaliteta karata.

Po prvi put se uvodi termin **test tačaka** čije se prostorne koordinate sa karte upoređuju sa koordinatama dobijenim merenjem na terenu. Za jedan list karte preporučuje se najmanje 20 test tačaka.

RMSE se računa iz razlika prostornih koordinata očitanih na karti u test tačkama i njihovih "istinitih" vrednosti. Moment drugog reda za visine računa se po formuli:

¹⁸ American Society of Photogrammetry and Remote Sensing
¹⁹ root mean square error (skr.)

426

trostruku vrednost dozvoljene RMSE smatraju se grubim greškama.

Za raspored tačaka se preporučuje da one budu raspoređene duž dijagonala lista karte, odnosno plana. Za tačnost određivanja visinskih razlika između kontrolnih tačaka greška merenja ne bi smela da bude veća od 1/20 ekvidistance.

Preporuke i normativi u zemljama zapadne Evrope vrlo su slični navedenim američkim standardima [14].

10.2 Tačnost fotogrametrijskog snimanja

Fotogrametrijska metoda prikupljanja je dominantna metoda direktnog prikupljanja podataka za izradu DMT poslednjih decenija. Prednost fotogrametrijske metode je ta što omogućuje da se mereni podaci proglašuju u skladu sa potrebama koje DMT treba da ispuni. S druge strane, velika prednost ove metode je i visoka tačnost prikupljenih podataka. Fotogrametrijska tehnologija prikupljanja podataka doživela je veliki napredak, počev od analognih stereorestitucionih instrumenata, preko analitičkih steroplotera, do digitalnih fotogrametrijskih stanica.

Tačnost merenih podataka u fotogrametriji zavisi od mnogobrojnih faktora, a kao najčešće pominjani standard pojavlju se sledeće formule dobijene empirijskim putem [15]:

za signalisane tačke (merenja u modelu):

- položajna tačnost: $\sigma_{xy} = \pm 8\mu m \times R_s$, gde je R_s - imenilac razmere snimka,

428

- visinska tačnost: $\sigma_z = \pm 0.008\% \times hl$, za normalnu i širokougaonu kameru,
- $\sigma_z = \pm 0.001\% \times hl$, za superširokougaonu kameru, gde je hl visina leta.

Za detaljne tačke (nesignalisane) na ove vrednosti treba dodati grešku koja odražava nesigurnost u definiciji tačke $\sigma_{(def)}$ koja se kreće u rasponu od 0.07 m do 1.0 m, pa bi konačna formula glasila:

- položajna tačnost: $\sigma_x = \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2 + \sigma_{x3}^2}$
- visinska tačnost: $\sigma_z = \sqrt{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2 + \sigma_{z3}^2}$ (4)

Izbor kamere zavisi od vrste izgrađenosti snimanog područja. Gradska izgrađena područja se snimaju sa uskougaonim i normalnougaonim kamerama, zbog mogućnosti stvaranja mrtvih uglova kod visokih objekata. Za neizgrađena područja najpogodnije su širokougaone i superširokougaone kamere [13].

Kod analitičkih stereorestitucionih instrumenata tačnost merenja se povećava za 25%. Osim merenja diskretnih tačaka terena, ne treba zaboraviti da se u procesu stereorestitucije mogu direktno izvlačiti izohipse. Za njihovu visinsku tačnost koristi se već navedena Koppe-ova formula:

$$\sigma_H = \sigma_z + \sigma_G \times \tan S \quad (5)$$

gde je :
 S - nagib terena,

trijskih stanica. Razvoj digitalne fotogrametrija a time i ekspanzija ortofoto produkcije, u prvi plan je stavila izradu DMT koji su neophodni ulazni podatak u procesu izrade ortofoto karata.

Sa stanovišta prikupljanja podataka za izradu DMT, ova tehnologija je interesantna pošto nudi mogućnost automatskog generisanja visina u modelu. Visine se obično mere u gridu ili po zadatim profilima sa zadatim korakom. Ovaj proces se obavlja prosečnom brzinom od 150 tačaka u sekundi, što omogućava operateru da za 10 minuta obavi posao za koji je na analitičkom stereorestitucionom instrumentu potrebno od 6 do 8 sati [9]. Pored ovakvog načina prikupljanja podataka omogućena su i manuelna merenja u modelu. Automatsko prikupljanje podataka zahteva i obaveznu naknadnu obradu podataka; u prvom redu zbog filtracije podataka koji ne pripadaju terenu (veštački objekti, vegetacija), a zatim i zbog toga što algoritmi koji to automatski obavljaju na pojedinim vrstama terena mogu biti i neuspešni. Razlog za to su kvalitet skeniranog fotografskog materijala, nagle promene nagiba površi, itd.

Za potrebe digitalne obrade materijal mora biti skeniran sa najmanjom veličinom piksela od $15\mu m$, pri čemu je napogodnije 10 do $12\mu m$, pa čak i manje. Skeniranje mora biti obavljeno visokopreciznim skenerom koji mora obezbediti geometrijsku tačnost od $\pm 3\mu m$.

- σ_z – visinska tačnost kontinuirano izvučenih linija koja usled dinamičkog procesa merenja ima sledeće vrednosti,
- $\sigma_z = \pm 0.025\% \times hl$, za normalnu i širokougaonu kameru,
- $\sigma_z = \pm 0.003\% \times hl$, za superširokougaonu kameru.

σ_G – položajna tačnost merenja kontinualno izvučenih linija i iznosi:

- $\pm 100\mu m \times Rs$, za krupnorazmere karte,
- $\pm 0.2mm \times Rk$, za sitnorazmerne karte (Rk -imenilac razmere kartiranja).

Za grubu procenu često se koristi formula:

$$\sigma_z = \pm 0.003\% \times hl \quad (6)$$

Za potrebe izrade ortofoto karata, vrše se merenja po profilima, odnosno u rasteru, i tu se za visinsku tačnost merenih podataka usvaja formula:

$$\sigma_z = 0.01 - 0.015\% \times hl \quad (7)$$

Kod blok aerotriangulacije ocene položajne i visinske tačnosti dobijaju se iz izravnjanja. Ove ocene se odnose na signalisane tačke, tako da se primenom formule (7) može predstaviti i ocena tačnosti za detaljne tačke. U svim prethodnim formulama nije uzeta u obzir nesigurnost koja se pojavljuje kod terena sa intenzivnom vegetacijom.

Krajem osamdesetih godina počinje nova era u fotogrametriji razvojem tehnologije digitalnih fotogrametrija

10.3 Tačnost laserskog skeniranja terena

Lasersko skeniranje terena (ALS²⁰ ili LIDAR) je nova tehnologija prikupljanja podataka za potrebe izrade DMT-a. Ova tehnologija je počela de se razvija u zadnjih deset godina i vrlo brzo je u razvijenim zemljama Evrope i SAD u pojedinim segmentima potisnula fotogrametrijsku metodu, kako po zahtevima tačnosti tako i po troškovima vezanim za realizaciju.

S obzirom na to da se radi o novoj tehnologiji, koja se još dinamično razvija, vrlo je teško govoriti o nekim opštim merama tačnosti. Značajno je istaći neke od osobnosti laserskog skeniranja terena koje su interesantne sa stanovišta DMT produkcije.

Ovom metodom moguće je obezbediti veliku gustinu merenih podataka sa visokom tačnošću. Snimanje se vrši iz vazduhoplova (avioni, helikopteri) sa visina od 20 do 6000 metara. Najčešće se radi o visinama leta oko 1000 metara (Slika 8). Visina je vrlo bitan parametar projektovanja snimanja, jer se minimalni razmak merenih podataka (razmak u rasteru) dobija iz sledeće formule:

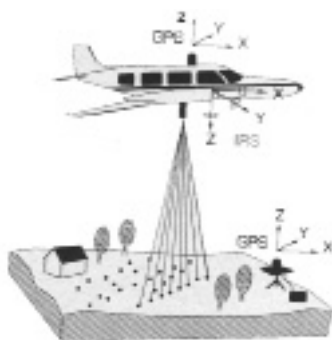
$$\Delta d = hl \cdot \gamma / 2000 \quad (8)$$

de je:
 hl – visina leta,

²⁰ Airborne Laser Scanning (skr.)

γ – ugao rasipanja laserskog zraka izražen u miliradijanima.

Uobičajena vrednost za γ je 1 mrad, tako da se minimalni razmak dobija iz odnosa $h/2000$.



Slika 8.- Lasersko snimanje terena

U svetu trenutno postoji nekoliko proizvođača ove opreme koji imaju različite standarde tačnosti, kako pozicione tako i visinske [5]. Posebno je interesantno da je poziciona tačnost od 2 do 5 puta manja od visinske tačnosti. Urađena su mnogobrojna nezavisna istraživanja sa uporednim testovima tačnosti fotogrametrijski i laserski izrađenih digitalnih modela terena. Rezultati jednog od uporednih testova prikazani su na slici 9 [16].

Visinska tačnost DMT-a dobijenog ALS tehnologijom odgovara tačnosti DMT-a dobijenog fotogrametrijski

433

moгуće dobiti DMT bez obzira na obraslost terena rastinjem, što je inače veliki problem kod fotogrametrije. Dobijena tačnost za DMT tačke u šumovitim terenima može se izraziti formulom [16]:

$$\sigma_z(\text{cm}) = \pm \sqrt{18 + 120 \tan^2 \beta} \quad (9)$$

gde je β nagib terena.

Dosadašnji pokušaji da se iz laserskih merenja direktno dobijaju izohipse pokazali su se kao nedovoljno kvalitetni sa stanovišta geomorfoloških prikazivanja detalja. Za takvu svrhu preporučuje se kombinovanje ovih podataka sa drugim izvorima podataka (dodatna GPS merenja ili fotogrametrijska merenja).

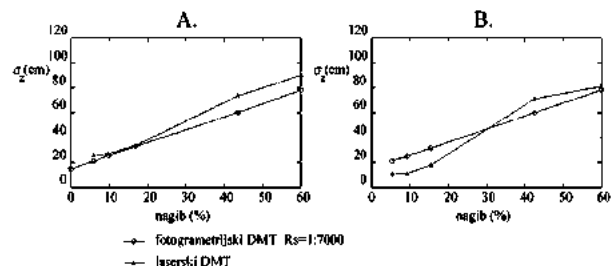
LIDAR tehnologija ima veliki potencijal kako u prikupljanju podataka za izradu DMT, tako i za izradu digitalnih modela površi. U kombinaciji sa fotografskim senzorima ona obezbeđuje bogate informacije o geometriji objekata koji se nalaze na terenu, što će je vrlo brzo izbaciti u prvi plan kod akvizicije podataka za krupnorazmerne 3D-GIS aplikacije.

10.4 Tačnost radarskih merenja ili SAR interferometrije

Uporedo sa LIDAR tehnologijom razvijala se tehnologija radarske interferometrije (InSAR). Merenja podataka o visinama terena bazirana su na principu merenja stereoparalakse signala radara čija je talasna dužina reda

435

trijskim merenjima za razmere snimanja $R_s=1: 7\ 000$ i $R_s=1: 10\ 000$. Uklanjanjem sistematskih grešaka, koje se u prvom redu odnose na greške pozicioniranja vazduhoplova koji se dobija iz GPS i INS²¹ merenja za terene sa nagibom manjim od 30% ALS tehnologija daje bolje rezultate (slika 9B).



Slika 9.- Grafik zavisnosti standardnih grešaka visina merenih fotogrametrijski i laserski i nagiba terena

Zanemarujući uticaj nagiba terena očekivana tačnost merenja laserima je od 5cm do 20cm (odnosi se prvenstveno na grešku GPS pozicioniranja vazduhoplova i merenja rastojanja) sa pogoršanjem od 0.5-2cm za svakih dodatnih 100m visine leta (ovo se odnosi na uglove skeniranja do 30°) [5].

Laserski sistemi novih generacija omogućavaju prodiranje laserskih snopova kroz vegetaciju, tako da je

²¹ Inertial Navigation Sensors (skr.)

434

veličine nekoliko centimetara, što omogućava njihovo prodiranje kroz oblake i nesmetan rad bez obzira na meteorološke uslove. Za ovu tehnologiju je interesantno da nudi mogućnost korišćenja širokog dijapazona letelica, za razliku od laserske tehnologije, tako da je NASA ovu tehnologiju prikupljanja podataka o terenu primenila i na Shuttle Radar Topographic Mapper misiji već 1999 godine.

Tačnost DMT merenja InSAR tehnologijom određena je sa tri osnovna faktora:

- tačnost određivanja faze radarskih signala,
- tačnost određivanja položaja letelice,
- atmosferski uslovi.

U poređenju sa LIDAR tehnologijom SAR interferometrija ima samo nešto manji nivo tačnosti, ali je mnogo ekonomičnija za prikupljanje podataka za DMT koji pokrivaju veća područja, posebno za teritorije koje nisu izgrađene i na kojima nema vegetacije. Sistemi kao što su na primer *Star-3i* pod idealnim uslovima mogu da pokriju područje od 30 000 km², za samo jedan dan snimanja [20]. Posebno je interesantno da merenja radarskom tehnologijom mogu da se obavljaju u pravilnim rasterima, tako da je gridni DMT dobijen na ovakav način praktično rezultat integracije merenih podataka bez primene interpolacije [21].

InSAR tehnologija otvara mogućnosti za relativno brz i ekonomičan način formiranja nacionalnih baza po-

436

dataka o visinama terena kod zemalja koje nemaju razvijeni kartografski materijal [11].

10.5 USGS standard za kontrolu kvaliteta DMT-a

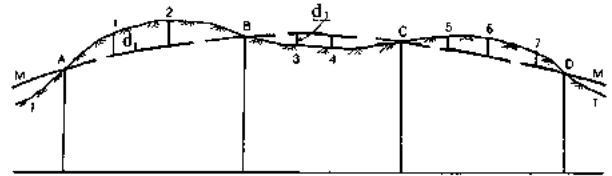
I pored toga što je doživeo mnogobrojne kritike stručne javnosti širom sveta, USGS²² standard je najpoznatiji standard za kontrolu kvaliteta DMT-a. On je prvi put prikazan u vidu dokumenta 1986 godine [6]. Namena ovog standarda je u prvom redu da olakša razmenu i upotrebu DEM podataka, odnosno stvaranje jedne kompatibilne baze koja će biti dostupna svim korisnicima u privatnom i javnom sektoru, bez obzira na sisteme koji se koriste za prikupljanje i editovanje ove vrste podataka. S obzirom na to da se u dokumentu razmatraju podaci sa gridnom strukturom, kvalitet DEM-a se definiše sa sledeća tri parametra:

- Horizontalna tačnost,
- Vertikalna tačnost,
- Usklađenost granica²³ DEM.

S obzirom na gridnu strukturu USGS DEM-a, gde se podaci o visinama nalaze na fiksnom rastojanju, horizontalna tačnost se praktično ocenjuje kroz vertikalnu tačnost tačaka u gridu. Kao mera koristi se moment drugog reda (slika 10), RMSE (formula 3).

²² United States Geological Survey (skr.)

²³ edge matching (engl.)



Slika 10.- Odstupanje u visinama grida M i stvarnog terena T

Kako je format za distribuciju USGS DEM-a u blokovima dimenzija 7.5' po geografskim koordinatama sa dimenzijama gridnih stranica od 30m, odnosno 30' sa dimenzijama grida od 3'' geografske širine i dužine, za ocenu RMSE predlaže se skup od najmanje 28 tačaka u okviru bloka, pri čemu se 20 tačaka nalazi unutar zahvaćene oblasti, a 8 tačaka u graničnom području bloka.

Koncept vertikalne RMSE definisan USGS standardom je vrlo često kritikovan. U prvom redu koncept RMSE kao mere tačnosti nije pogodan u smislu određivanja sistematskog uticaja u tačnosti DMT-a. Zbog toga se RMSE u praksi vrlo često zamenjuje centralnim momentom drugog reda, odnosno standardnom devijacijom σ_z :

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}, \quad \bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} \quad (11)$$

gde je:

d_i - razlika visine dobijene interpolacijom iz DMT-a i visine sa terena $d_i = z_{int} - z_i$

n – ukupan broj kontrolnih tačaka.

Kao moguća mera tačnosti koristi se i raspon R sračunatih razlika d_i : $R = d_{max} - d_{min}$

gde su članovi sa desne strane jednakosti maksimalna, odnosno minimalna, vrednost za d_i .

Među potencijalnim merama može se koristiti i aritmetička sredina \bar{d} :

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} \quad (12)$$

Sračunata vrednost aritmetičke sredine razlika težiće nuli u slučaju da se razlike d_i sa negativnom i pozitivnom vrednošću javljaju sa istom učestalošću i istim intenzitetom. S druge strane, značajna pozitivna ili negativna vrednost aritmetičke sredine ukazuje na sistematsku komponentu sračunatih razlika, te ova veličina predstavlja ocenu konstantne sistematske greške.

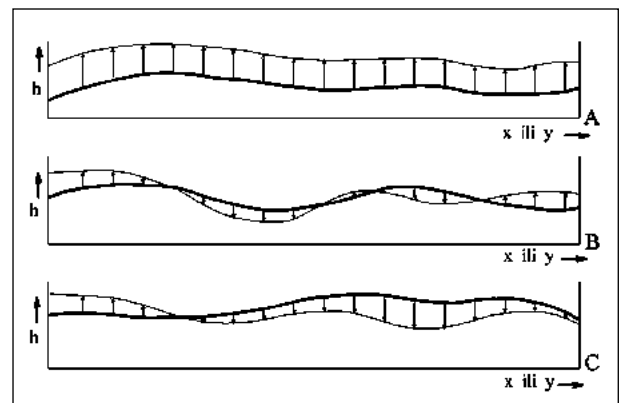
Takođe je moguće koristiti i prosečnu grešku:

$$ME = \frac{\sum |d_i|}{n} \quad (13)$$

U ovoj formuli se razlike d_i uzimaju po apsolutnoj vrednosti. Zbog toga je vrednost za ME uvek veća od nule i ona oslikava raspon raspodele razlika d_i . 50% razlika leži u rasponu od $-ME$ do $+ME$ [27].

Odnos navedenih mera tačnosti najbolje se može uočiti na sledećim slučajevima (slika 11).

Slika 11A. ilustruje slučaj kada je površ modela uniformno viša u odnosu na stvarni teren. Vrednosti d_i su



Slika 11.- Poređenje profila modela (tanja linija) i stvarnog terena (deblja linija)[27]

praktično konstantne, što ukazuje na njihov sistematski karakter, i tada je:

$$\bar{d} = ME = d_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

Slika 11B. predstavlja potpuno slučajnu karakteristiku razlika d_i , kako po pitanju iznosa tako i po pitanju predznaka. Aritmetička sredina njihovih razlika teži nuli pa se raspored i veličine grešaka najbolje mogu prikazati RMSE ocenom.

U slučaju prikazanom na slici 11C. vrednosti za d_i variraju po iznosu, ali prevladavaju vrednosti sa negativnim

predznakom, što ukazuje na prisustvo kako slučajne tako i sistematske komponente razlika. Sračunata vrednost aritmetičke sredine biće mera sistematskog uticaja, a σ_z će oslikavati iznos i raspodelu veličina d_i . Ukoliko bi se od svake tačke u DMT-u oduzela sračunata vrednost algebarske sredine, ponovo sračunate vrednosti za d_i imale bi slučajni karakter.

Druga zamerka koja je vrlo često upućivana USGS konceptu analize kvaliteta DTM odnosi se na mrežu kontrolnih tačaka.

10.6 Mreže kontrolnih tačaka

Važan segment projektovanja DMT-a predstavlja projekat mreže kontrolnih tačaka ili takozvane kalibracione mreže. Ovaj skup predstavljaju tačke koje su hijerarhijski veće tačnosti od tačaka koje su korišćene kao inicijalna baza DTM-a. U literaturi se za ove tačke često koristi termin "uslovno tačne veličine"²⁴, ukazujući na to da bi one trebalo da predstavljaju istinitu vrednost veličina koje se ocenjuju [29].

U praksi se za ocene kartografskih DMT-a koriste tačke koje su dobijene sa topografskih podloga krupnije razmere, ili fotogrametrijske ako razmera snimanja odgovara krupnijoj razmeri kartiranja, kao i tahimetrijski ili GPS tehnologijom snimljene tačke. DMT dobijen iz

²⁴ ground truth (engl.)

Raspored kontrolnih tačaka, odnosno geometrija kontrolne mreže tačaka takođe je važan segment "projekta" ocene tačnosti DMT-a. Za razliku od prethodno izloženih analiza, obrazloženih adekvatnim statističkim aparatom, ovaj segment se više zasniva na dosadašnjim iskustvima i rezultatima dobijenim iz prakse.

U svim dosadašnjim istraživanjima ističe se da skup ovih tačaka treba da pokriva celo područje DMT-a. Čak se može naići i na stanovišta da tu mrežu treba da čine pored inicijalno merenih i interpolovane tačke [18].

Prvi izrađeni DMT proizvodi bili su mahom "kartografskog" porekla i za ocenu kvaliteta je obično korišćena poznata geodetska osnova (poligonske tačke sa kotama i trigonometrijske tačke) ili tačke na terenu koje su kartirane sa kotama. Ovakav uzorak kontrolnih tačaka ne može da se nazove reprezentativnim pošto je njihov položaj na specifičnim lokacijama kao što su uzvišenja, vrhovi brda, planina, zatim duž određenih komunikacija, ili na veštačkim profilima kao što su nasipi. To su praktično lokacije na kojima se usled prirode interpolacionih metoda pojavljuju najveća odstupanja u modelu od stvarnog terena, što ima za posledicu pomecene ocene parametara tačnosti.

Pojava GPS merne tehnike omogućava dobijanje tačaka koje visoko ispunjavaju zahteve za tačnošću kontrolnih tačaka s jedne strane, i s druge strane, troškovi realizacije ovakvih merenja mogu se smatrati ekonomičnim [1].

fotogrametrijskih snimanja takodje se ocenjuje fotogrametrijskim tačkama iz krupnije razmere snimanja, kao i terestričkim merenjima (tahimetrija, GPS).

Kod DMT-a dobijenog laserskim snimanjem takodje se koriste tačke snimljene terestričkim metodama. Terestrička merenja su često primarni način prikupljanja podataka, za modele koji se koriste u inženjerstvu, koji imaju visoke zahteve tačnosti i koji obično obuhvataju mikrolokacije. U tom slučaju se za kontrolne tačke koriste nezavisni skup tačaka dobijen istom tehnologijom merenja, ali koji nije učestvovao u formiranju modela.

U USGS standardima za ocenu kvaliteta jednog DMT bloka, preporučuje se da broj nezavisnih tačaka ne bude veći od 28 (20 tačaka u unutrašnjosti bloka i 8 na obodu) ne ulazeći u to koji je način prikupljanja ovih podataka.

Lokacija kontrolnih tačaka se prvi put razmatra u Standardima za geopozicionu tačnost u dokumentu FGDC-a²⁵ [8]. Kao osnovna smernica ističe se da tačke moraju biti gušće rapoređene u blizini područja koja su od važnijeg interesa.

Očigledno je da veći broj kontrolnih tačaka daje pouzdanije rezultate. Međutim, obezbeđivanje velikog broja tačaka koje se koriste za kontrolu kvaliteta DMT-a može značajno da poskupi finalni proizvod, a katkad i da bude vrlo teško izvodljivo.

²⁵ Federal Geographic Data Committee (skr.)

Pravi reprezent terena može biti samo slučajni uzorak tačaka homogenog raporeda, što podrazumeva da tačke ne smeju biti grupisane na pojedinim lokacijama. Na test područjima ISPRS-a naknadno je urađen eksperiment na petnaest nezavisno određenih mreža sa istim brojem tačaka. Varijacije u ocenama konstantne sistematske greške i standardnog odstupanja σ_z su zanemarljive. Standardna devijacija ovih ocena za svih petnaest lokacija bila je veća kod terena sa izraženijim nagibom i hrapavošću²⁶.

11. PODACI DOSTUPNI NA INTERNETU

Razvoj Interneta kao sredstva za masovnu komunikaciju, rezultovao je i pojavom podataka koji se nalaze na serverima koji su dostupni svim korisnicima bez nadoknade za njihovo korišćenje. Što se tiče prostornih tj. geopodataka, tu se najčešće radi o satelitskim snimcima sitnije rezolucije, ali i o podacima vezanim za topografiju koji su organizovani u gridnim strukturama.

Iako postoje ograničenja što se tiče korišćenja rasterskih DMT-a u oblasti građevinarstva, ovakva vrsta podataka s obzirom na nivo detaljnosti i tačnosti koju pružaju može se primeniti u određenim fazama izrade projektne dokumentacije. Generalno ovakve baze podataka odgovaraju topografskim podlogama razmere 1:50 000, što ih takođe čini interesantnim za primenu u građevinarstvu.

²⁶ roughness (engl.)

11.1 Shuttle Radar Topography Mission – SRTM

SRTM predstavlja internacionalni projekat vođen od strane National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Imagery and Mapping Agency (NIMA) i Italijanske i Nemačke svemirske agencije (DLR). Glavni cilj SRTM je bio prikupljanje podataka za izradu digitalne topografske karte Zemljine kore u visokoj rezoluciji i testiranje nove tehnologije za ispitivanje velikih krutih struktura i njihovih distorzija.

Svemirski satel ENDEAVOUR je tokom ove jedanednevnice misije realizovane u februaru 2000 god. specijalno modifikovanim radarskim sistemom, prikupljao podatke za skoro celu Zemljinu površ koja se nalazi između 60° severne i 54 ° južne latitude, što predstavlja oko 80 procenata od celog kopna.

InSAR sistem SRTM-a je koristio dve različite talasne dužine. Kratki radio talasi C-opsega i X-opsega nemaju sposobnost probijanja vegetacije tako da je SRTM-ov model terena ustvari Digitalni model površi [28], što treba imati u vidu prilikom upotrebe SRTM DMT.

Podaci SRTM DMT-a sa rezolucijom od 3 lučne sekunde (približno 90 m) su dostupni za sve zemlje, dok su podaci DMT-a sa rezolucijom od 1 lučne sekunde (približno 30 m) dostupni samo nekim zemljama (SAD uključujući Aljasku i Havajska ostrva). Ovi podaci su kreirani od strane neprofitabilnih organizacija sa ciljem da obezbede

445

za dobijanje detaljne mape temperature površine zemljišta, refleksije i nadmorskih visina.

Novi globalni digitalni model Zemljine površi, ASTER GDEM, je kreiran od blizu 1.3 miliona pojedinačnih stereo parova slika prikupljenih Japanskim naprednim svemirskim radiometrom za termalnu emisiju i refleksiju (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer -ASTER), instrumentom koji je bio postavljen na NASA platformi TERRA, koja je lansirana decembra 1999 godine. ASTER GDEM je realizovan i publikovan juna 2009. godine.

Distribuciju ASTER GDEM-a realizuju METI i NASA preko ERSDAC-a i NASA Centra za distribuciju arhive podataka aktivnosti zemljišta (LPDAAC), bez novčane nadoknade, korisnicima širom sveta kao doprinos sistemu za globalno proučavanje sistema Zemlje (GEOSS).

ASTER GDEM obuhvata površ Zemlje između 83° severne i 83° južne latitude, po blokovima veličine 1°×1° sa ocenjenom tačnošću od 20 m, sa nivoom značajnosti od 95% za vertikalne podatke i 30 m sa nivoom značajnosti od 95% za horizontalne podatke (ASTER GDEM Validation Summary Report). Format u kojem se distribuira je Geotiff sa geografskim koordinatama (geografskom širinom i dužinom) i gridom od 1 lučne sekunde (30 m). Za svaki blok od 1°×1° isporučuju se dva fajla: a)DEM podaci; b)podaci o oceni kvaliteta (quality assessment - QA).

447

dostupne i korisne informacije za državne organizacije za razvoj. Aktivno se ohrabruje upotreba ovih proizvoda u naučne svrhe.

Distribucija podataka je realizovana preko sistema EROS Data Centar. Podaci se mogu preuzeti u sledećim formatima: ARCGRID, ARCASCII i Geotiff u stepenima sa decimalnim zapisom i u datumu WGS84.

Misija nudi primenu podataka u raznim oblastima: geologiji, geofizici, hidrološkom modeliranju, ekologiji, terenske korekcije za rastere dobijene daljinskom detekcijom, atmosferskom modeliranju, urbanom planiranju, proceni posledica prirodnih katastrofa, modelima širenja požara i planiranju transporta, infrastrukturi, u vojne svrhe (simulacija leta, logističko planiranje, upravljanje avio saobraćajem, sistemi za raketnu i oružanu navigaciju).

Apsolutna visinska tačnost SRTM DMT-a je vrednost od 16m, relativna visinska tačnost 10m i apsolutna horizontalna tačnost 20m (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/statistics.html>).

11.2 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – ASTER

ASTER misija je realizovana u saradnji sa NASA-om, Janaskim ministarstvom ekonomije, trgovine i industrije (METI) i Japanskim centrom za analizu podataka daljinske detekcije Zemlje (ERSDAC). ASTER se koristi

446

12. ZAKLJUČAK

Primena kompjuterske tehnike u projektovanju, nametnula je potrebu za novim vidovima podataka koji bi zamenili klasične podloge za projektovanje (topografske podloge, situacione planove itd.). Digitalni modeli terena već danas predstavljaju novi standard arhiviranja podataka o topografiji. U formi digitalnih modela površi oni predstavljaju i mnogo sveobuhvatniju bazu podataka o geometriji prostora.

Kao u slučaju klasičnih topografskih podloga, gde je razmera bila odlučujući faktor za izbor odgovarajuće podloge, tako i kod DMT-a njegov kvalitet odnosno tačnost je presudna u tome da li DMT odgovara zahtevima projektnog zadatka. U radu je razmatrana ocena kvaliteta ovakve vrste proizvoda sa posebnim osvrtom na tačnost ulaznih podataka kod različitih tehnologija prikupljanja podataka. Projektantima ova vrsta informacija može poslužiti posebno prilikom naručivanja ovakve vrste podataka, kao i donošenja odluke koju tehnologiju prikupljanja podataka treba usvojiti.

Iako je već ustaljeno mišljenje da za potrebe projektovanja treba koristiti TIN strukture DMT-a, savremene metode prikupljanja podataka poput digitalne fotogrametrije i LIDAR-a, omogućuju dobijanje gridova visoke rezolucije koji se takođe mogu koristiti u projektovanju. Svakako treba imati u vidu podatke dostupne na Internetu koji mogu poslužiti u fazi izrade prethodnih studija,

448

kao i kod 3D vizuelizacije satelitskih ili fotogrametrijskih snimaka.

DMT već danas postaje standard oraganizacije baze podataka o reljefu, a klasični 2D prikazi u vidu izohipsi samo jedan od mogućih pogleda na tu bazu.

REFERENCE:

- [1] ACHARYA B., CHATURVEDI A.: Digital Terrain Model: Elevation Extraction and Accuracy Assessment, *Journal of Surveying Engineering* Vol.123. No.2:71-76., (1997)
- [2] ACKERMANN F.: Techniques and Strategies for DEM Generation. in *Digital Photogrammetry, an Addendum to the Manual of Photogrammetry of ASPRS*:135-141., (1995)
- [3] ACKERMANN F. Experimental investigation into the accuracy of contouring through DTM. *Proceedings of Digital Terrain Modelling Symposium*, St. Louis: 165-192., (1978)
- [4] AYENI O.O.: Optimum Sampling for Digital Terrain Models: A Trend Towards Automation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.48, No.11: 1687-1694., (1982)
- [5] BALTSAVIAS E.P. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (2-3): 83-94., (1999)

449

- [13] JOKSIĆ D.: *Fotogrametrija*. Naučna knjiga, Beograd, st.159., (1983)
- [14] KOELBL O.: Technical Specifications for the Elaboration of Digital Elevation Models. EPFL www.intesagis.it/Specifiche_Tecniche/DTM/DTM16I_Spec_Apr01.PDF, (2001)
- [15] KRAUS K.: *Fotogrametrija 1*, (prevod) Naučna knjiga, Beograd., st. 346 (1989)
- [16] KRAUS K., PFEIFER N.: Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53(4): 193-203., (1998)
- [17] KUMLER M.P.: An intensive comparison of triangulated irregular networks (TINs) and Digital Elevation Models (DEMs), *Cartographica*, Monograph, Vol. 31, No. 2., (1994)
- [18] LEY R.: Accuracy assessment of digital terrain models. *Proceedings, Auto Carto London* vol. 1:455-464., (1986)
- [19] LI, Z., ZHU, Q. and GOLD C.: *Digital terrain modeling: principles and methodology*, CRC Press, 318 pp., (2005)
- [20] MERCER B., SCHNICK S.: Comparison of DEMs from STAR-3i Interferometric SAR and Scanning Laser. *Proceedings of the ISPRS Workshop, La Jolla, CA*, :127 – 134., (1999)
- [21] MERCER B.: Comparing LIDAR and IFSAR: What can you expect? *Proceedings of Photogrammetric Week 2001 Stuttgart*, (2001): http://www.intermaptechnologies.com/PDF_files/paper_Stuttgart01_JBM3.pdf

451

- [6] CARUSO V.M.: Standards for digital elevation models. *Proceedings of the ACSM/ASPRS Annual Convention, Baltimore*:159-166., (1987)
- [7] Committee for Standards and Specifications: Accuracy Specifications for Large-Scale Line Maps, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 51(2):195-199., (1985)
- [8] FGDC: Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy www.fgdc.gov/standards/documents/standards/accuracy/chapter3.pdf, (1998)
- [9] GOOCH M.J., Chandler J.H.: Failure prediction in automatically generated digital elevation models, *Computers and Geosciences*, Vol.27 No. 8:913-920., (2001)
- [10] HEIPKE C.: Some Requirements for Geographic Information Systems: A Photogrammetric Point of View. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70 (2):185–195., (2004)
- [11] HOLLAND D. Developing a national height database. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa* <http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/348.pdf>, (2002)
- [12] HUNTER G., GOODCHILD M.: Modeling the Uncertainty of Slope and Aspect Estimates Derived From Spatial Databases. *Geographical Analysis*, Vol. 29, No. 1, :35-49., (1997)

450

- [22] MERCHANT, D.C.: Spatial accuracy specification for large scale topographic maps, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53:958-961., (1987)
- [23] MILLER, C. and LAFLAMME, R.: The digital terrain model — theory and applications. *Photogrammetric Engineering*, 24:433–442., (1958)
- [24] MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A.R.: Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. - In: Beven, K.J. & Moore, I.D. [Hrsg.]: *Terrain analysis and distributed modelling in hydrology*, 7-34; Chichester, N.Y., Brisbane., (1991)
- [25] MORRISON J.L.: Spatial data quality. In: Guptill S.C., Morrison J.L.: *Elements of Spatial Data Quality* ch.1.:1-12, Pergamon., (1995)
- [26] OEEPE: Precision Terrain Models for Civil Engineering. *Proceedings of the OEEPE Workshop on National Mapping Agencies and the Internet & Precision Terrain Models for Civil Engineering*, Flotron A., Koelbl O. (ed.), Southampton., (2000)
- [27] PETRIE, G., KENNIE, T.J.: *Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering*, Caithness: Whittles., (1990) (eds)

452

- [28] SEFERCIK, U., JACOBSEN, K.: Analysis of SRTM Height Models. 5th Turkish-German Joint Geodetic Days. Berlin., (2006)
- [29] TORLEGARD K., OSTMAN A., LINDGREN R.: A comparative test of photogrammetrically sampled digital elevation models. Photogrammetria No.41: 1-16., (1986)
- [30] WECHSLER S.P.: Effect of Digital Elevation Model (DEM) uncertainty on topographic parameters, DEM scales and terrain evaluation, Ph.D. Dissertation, New York., (2000)
- [31] WOOD, J.: The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models. Ph.D. Dissertation, Department of Geography, University of Leicester, Leicester, UK., (1996).

453

- «**GRAĐEVINSKI KALENDAR 1996**» koji sadrži sledeće teme:
- Superprave – sistem za projektovanje bitumenom vezanih materijala
 - Građenje objekata gradske komunalne infrastrukture tunelski, metodom potiskivanja cevi
 - Betonski radovi u zimskim uslovima
 - Novosti u oblasti građevinske mehanizacije «BAUMA 95»
 - Primena geografskih informativnih sistema u građevinarstvu
- CENA KALENDARARA 500,00 dinara

- «**GRAĐEVINSKI KALENDAR 1997**» koji sadrži sledeće teme:
- Tehnička regulativa iz oblasti građevinarstva-postojeće stanje i perspektiva
 - Ispitivanje konstrukcija
 - Parcijalno prethodno napregnute konstrukcije – stanje i perspektive razvoja
 - Mostovi preko reke Dunav
 - O proračunu karakteristika talasa od vetra na rekama i akumulacijama
 - Primena polietilenskih cevi u vodovodima
 - Plovni pristani za mala plovila
- CENA KALENDARARA 500,00 dinara

- «**GRAĐEVINSKI KALENDAR 1998**» koji sadrži sledeće teme:
- Zakon o izgradnji objekata i podzakonska akta
 - Sistem kvaliteta u građevinarstvu
 - Granična nosivost, zamor, duktilnost i optimalno projektovanje parcijalno prethodno napregnutih konstrukcija
 - Odlaganje čvrstog otpada na sanitarnim deponijama
 - Projektovanje seizmički otpornih zgrada od armiranog betona
 - Male, srednje i visoke brane, kategorizacija, osobenosti i projektne velike vode
- CENA KALENDARARA 500,00 dinara

455



OBAVEŠTENJE

Obaveštavamo zainteresovane organizacije da Savez raspolaže jednim manjim brojem «Građevinskih kalendara» i to:

- «**GRAĐEVINSKI KALENDAR 1985**» koji sadrži sledeće teme:
- Aktuelni problemi teorije betonskih konstrukcija – granična stanja upotrebljivosti
 - Primena morfoloških analiza pri rešavanju problema uređenja korita aluvijalnih vodotoka
 - Zaštitni objekti sa aspekta novih propisa
- CENA KALENDARARA 500,00 dinara
- «**GRAĐEVINSKI KALENDAR 1989**» koji sadrži sledeće teme:
- Korozija i zaštita materijala
 - Patologija betonskih fasadnih površina i sanacija
 - Metode za proračun velikih voda
 - Laki konstrukcioni i termoizolacioniradovi materijali u građevinarstvu
 - Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda
- CENA KALENDARARA 500,00 dinara
- «**GRAĐEVINSKI KALENDAR 1994-1995**» koji sadrži sledeće teme:
- Polimerima modifikovani malteri i betoni /teorija, tehnologija, primena/
 - O problemima i principima kanalsanja kišnih voda
 - Inspektorska zapažanja i pouke sa osvrtom na situacije kada relativno manji propusti stvaraju uslove za velike štete
 - Karakteristike jakih kiša za teritoriju Srbije
 - Dizalice i čelični nosači dizalica sa opremom
- CENA KALENDARARA 500,00 dinara

454

- «**GRAĐEVINSKI KALENDAR 1999**» koji sadrži sledeće teme:
- Tehnički pregled i probni rad vodovodnih sistema
 - Teorija pouzdanosti u hidrotehnici
 - Primena metode minimalne noćne potrošnje vode za određivanje gubitka vode u vodovodnim sistemima
 - Metodologija projektovanja puteva i gradskih saobraćajnica – I deo
 - Baze podataka o putevima, mostovima i saobraćaju u okviru integrisanog informacionog sistema o putnoj mreži
 - Projektovanje seizmički otpornih zgrada od armiranog betona – II deo
 - Spregnute betonske konstrukcije –I deo
 - Konstrukcijski sistem DC 90
- CENA KALENDARARA 500,00 dinara

- «**GRAĐEVINSKI KALENDAR 2001**» koji sadrži sledeće teme:
- Evrokod EC 5: Proračun drvenih konstrukcija
 - Evrokod EC 6: Proračun zidanih konstrukcija
 - Evrokod EC 7: Projektovanje i proračun geotehničkih konstrukcija
 - Evrokod EC 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija
 - Evrokod EC 9: Proračun aluminijumskih konstrukcija
 - Aktuelni Fidic-ovi uslovi ugovora – II deo Fidic-ovi uslovi ugovora za izgradnju
 - Spregnute betonske konstrukcije – II deo
 - Metodologija projektovanja puteva i gradskih saobraćajnica – II deo
 - Primena georadara na putevima, u geotehnici i kontroli masivnih konstrukcija
 - Savremeno održavanje kolovoza sa zastorom od asfaltnih mešavina na putevima i autoputeva
 - Određivanje merodavnih protoka za dimenzionisanje sistema za navodnjavanje

456