

# DIGITALNI MODEL TERENA KONSTRUKCIJA I KORIŠĆENJE

Autor M. SINDIK — Beograd\*

## UVOD

U posljednje vrijeme, uslijed brzog razvoja automatizacije u fotogrametriji a pogotovo razvoja kompjuterske tehnike, sve je veća mogućnost praktične primjene tzv. Digitalnog modela terena (u daljem tekstu DMT).

### Što je u biti DMT?

U širem smislu, DMT se može definisati kao numerički opis nepravilne površine, baziran na mjerenju pojedinih tačaka te površine. U smislu najčešće praktične primjene, DMT se koristi za numeričku predstavu dijela zemljine površine, a koja predstava može biti smještena u memoriju kompjutera na takav način da visina bilo koje tačke na toj površini može biti automatski dobivena uz uvjet da su njene koordinate (X, Y) poznate.

Pri današnjim kapacitetima memorije kao i mogućnostima računanja kompjutera, DMT se može sačiniti i za veća područja. Pri praktičnoj izradi i korišćenju DMT, treba uvijek unaprijed utvrditi:

- Oblik mreže tačaka za izradu DMT, i
- Način interpolacije, tj. dobijanja traženih veličina iz DMT.

Prije nego što se priđe opisu najčešćih oblika mreža tačaka DMT, treba istaći da se njegovi parametri — koordinate i visina tačaka sa kojima je DMT definiran — mogu dobiti, osim fotogrametrijskim putem, takođe i direktnim mjerenjem na terenu ili uzimanjem podataka sa postojećih karata ili planova. Pri komparaciji ova tri načina treba imati u vidu dva faktora:

- Pogodnost pojedinog načina izrade DMT, i
- Namjenu DMT.

Kada je u pitanju pogodnost, svakako da fotogrametrijska metoda ima prednost nad metodom direktnog mjerenja na terenu, posebno sa stanovišta mogućnosti povezivanja stereorestitucionog instrumenta sa uređajima za automatsku registraciju podataka na način, koji omogućuje neposrednu kompjutersku obradu. U izuzetnim slučajevima, kao što su prepreke uslijed vegetacije, fotogrametrijska mjerenja moraju biti dopunjena mjerenjima na terenu.

\* Adresa autora: Anton Sindik dipl. inž. Novi Beograd Milentija Popovića 44/12.

U odnosu na treći način, tj. uzimanje podataka sa karte, fotogrametrijska metoda ima prednosti jer ona obrađuje stvaran realan model terena, a karta nudi reljef definiran samo izohipsama i po kojoj kotom.

Međutim, na izbor metode izrade ima utjecaja i namjena DMT. Ako se radi o izradi DMT za potrebe konstrukcije informacionog sistema prostora šireg regiona i za potrebe prostornog planiranja, prednost ima metoda uzimanja podataka sa postojećih karata. Ali ako je DMT predviđen da se koristi pri projektovanju i izgradnji komunikacija ili drugih inženjersko-tehničkih zahvata na terenu, gdje se predviđaju zemljani radovi, prednost svakako ima fotogrametrijska metoda. Za prvi slučaj, za definisanje reljefa terena biće — najčešće — dovoljni podaci osnovnog DMT, dok u drugom slučaju biće potrebno da se iz definisanog DMT interpolacijom dođe do podataka o visini nekih tačaka na terenu koje su uklopljene u projekt ili definišu područje predviđenih zemljanih radova.

Ovdje će više biti riječi o fotogrametrijskoj metodi izrade DMT.

### FOTOGRAMETRIJSKA METODA IZRADE DMT

Za izradu DMT određenog područja fotogrametrijskom metodom, potrebno je raspolagati snimcima iz zraka, sa uzdužnim preklopom koji omogućuje stereoskopsko osmatranje. Za svaki stereopar treba odrediti odgovarajući broj oslonih tačaka preko kojih se vrši transformacija očitanih mašinskih koordinata  $(x, y, z)$  tačaka DMT u državni sistem  $(Y, X, H)$ . Razmjeru snimanja treba podesiti zahtjevu tačnosti određivanja visine tačaka koje čine DMT, ali treba znati i to da će konačna tačnost predstavke reljefa putem DMT zavisiti ne samo od razmjere snimanja već i od oblika i gustine mreže tačaka preko kojih se DMT konstruiše.

Za očitavanje tačaka na modelu u koordinatnom sistemu instrumenata koriste se najčešće univerzalni stereorestitucioni instrumenti (npr. Wild A<sub>7</sub>), opremljeni uređajima za automatsku registraciju i uređajem za bušenje. Naravno da se osim navedenog Wildovog sistema može koristiti i drugi, opremljeni odgovarajućim uređajima.

*Postupak na instrumentu može se obaviti na dva načina:*

1. Izvršiti relativnu a zatim i apsolutnu orijentaciju modela preko datih tačaka u što krupnijoj razmjeri, a za koju postoji odgovarajuća visinska skala. Zatim prići očitavanju i registraciji datih i svih tačaka koje čine DMT i to: koordinate  $x, y, u$  u sistemu instrumenata i u razmjeru modela, a visine u pravoj apsolutnoj vrijednosti  $H$ .

U ovom slučaju kompjuter će — koristeći date tačke — transformirati  $x, y$  koordinate iz sistema instrumenta u  $Y, X$  koordinate državnog sistema pomoću izraza:

$$\begin{vmatrix} Y \\ X \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a & b \\ -b & a \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} Y_0 \\ X_0 \end{vmatrix}$$

Zatim će kompjuter za svaku tačku DMT memorirati  $Y, X$  i  $H$  koordinatu.

2. Izvršiti relativnu orijentaciju, model približno horizontirati i ostaviti ga u proizvoljnoj ali što je moguće krupnijoj razmjeri, a zatim prići očitava-

vanju i registraciji modelnih koordinata  $x, y, z$  za date i za sve tačke koje čine DMT.

U ovom slučaju kompjuter će izvršiti numeričku apsolutnu orijentaciju modela i preko utvrđenih parametara transformirati  $x, y, z$  koordinate u  $Y, X$  i  $H$  koordinate državnog sistema te za svaku tačku DMT dotične vrijednosti memorirati.

Transformacija se vrši pomoću izraza:

$$\begin{pmatrix} Y \\ X \\ H \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Y_0 \\ X_0 \\ H_0 \end{pmatrix}$$

Neka strana iskustva pokazuju da se u jednom radnom satu može poentirati i registrirati 180 — 200 tačaka DMT ako se u kretanju od jedne ka drugoj tački moraju koristiti oba ručna pokretača. Učinak može biti i za 25% veći ako je sistem tačaka DMT podešen tako da se u kretanju od jedne do druge tačke koristi samo jedan ručni pokretač instrumenata.

Podatak o brzini registracije: 1 tačka = 6 sekundi (600 tač/sat) dat u članku T. Banovca, dipl. geod. ing. »Konstrukcija digitalnog modela reljefa za teritorij SR Slovenije« (Automatizacija u geodeziji, 1972. str. 298) odnosi se na eksperimentalan rad i za očekivati je da bi na konkretnom proizvodnom zadatku taj učinak bio slabiji.

Za određivanje mjesta tačaka za koje na modelu terena u stereorestitucionom instrumentu treba registrirati  $x, y$  i  $H$ , odnosno  $x, y$  i  $z$  vrijednosti, uglavnom postoje dvije osnovne vrste mreža i to one sa *pravilnom* kao i one sa *nepravilnom* raspodjelom tačaka. U drugom slučaju, izraz *nepravilno* ne treba shvatiti bukvalno jer se i one formiraju po nekim određenim kriterijima.

#### a). Mreže sa *pravilnom* raspodjelom tačaka

U prvom redu to su kvadratne mreže (sl. 1) sa sistemom tačaka na istom međusobnom rastojanju za cijelo područje. Primjenjuju se za ravničasto zemljište ili za zemljište s jednoličnim padom. Ukoliko se takvim sistemom tačaka želi izraditi DMT za zemljište razvijenijih reljefnih formi korišće se ovakva mreža ali s gušćim rasporedom tačaka.

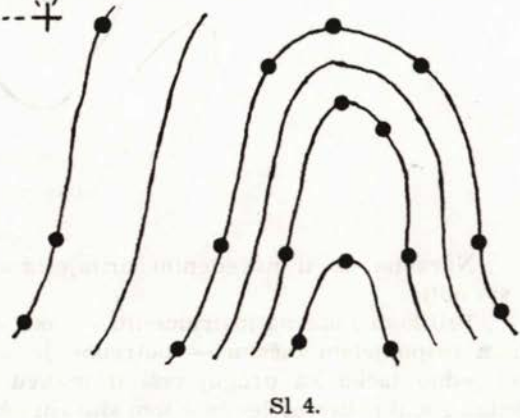
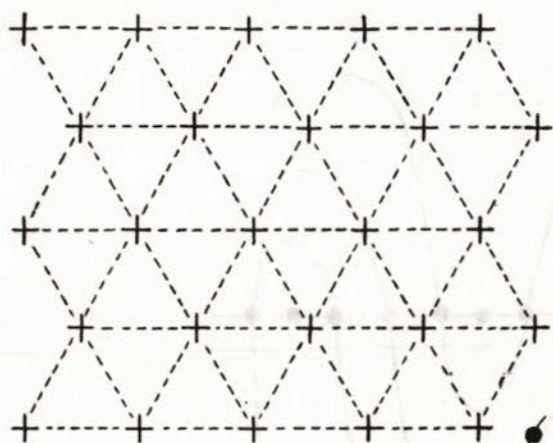
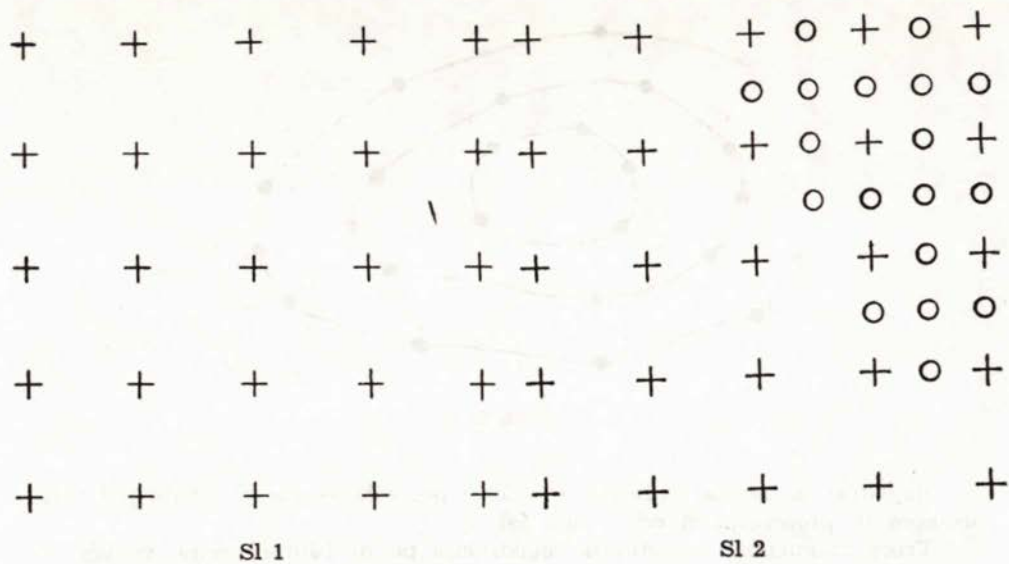
Međutim, ako je područje takvog oblika da sadrži i ravničast i brdovit teren, u ravničastom dijelu registrovaće se odgovarajući podaci na rjeđim tačkama a na brdovitijem s gušćim (Sl. 2).

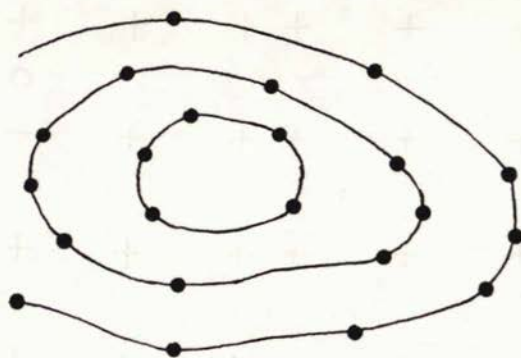
U mreže sa *pravilnom* raspodjelom tačaka spada i ona u obliku trokutova (sl. 3).

#### b). Mreže sa *nepravilnom* raspodjelom tačaka

U ovom slučaju unapred date mreže ne postoje ali određenu »mrežu« formira restitutor sam prema unaprijed utvrđenim opredjeljenjima. To u prvom redu može biti sistem tačaka na mjestima preloma terena.

Na slici 4. pokazano je npr. na kojim bi se tačkama restitutor opredijelio da registrira odgovarajuće podatke, obzirom na karakter terena prikazan zohipsama.

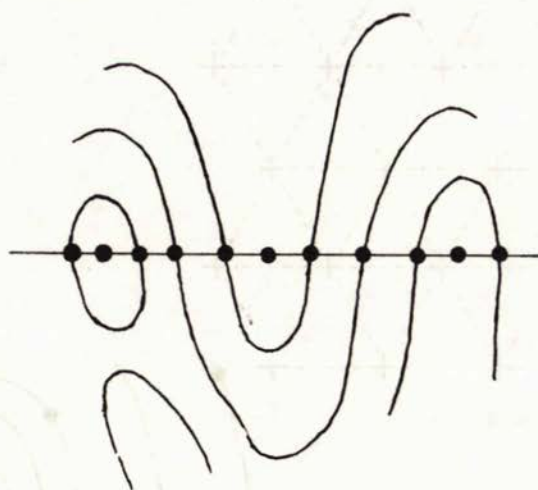




Slika 5.

Registracija tačaka može da se vrši i po izohopsama na unaprijed definisanom ili proizvoljnom odstojanju (sl. 5).

Treću mogućnost predstavlja registracija po profilima terena, vodeći računa da se obavezno registriraju tačke na profilu na mjestima najniže i najviše visine (sl. 6).



Slika 6.

Naravno da u navedenim primjerima nijesu iscrpljene sve mogućnosti i svi oblici.

Prilikom rada na instrumentu — ako se koristi neka od mreža sa pravilnom raspodjelom tačaka — potrebno je istu orjentirati tako da se kretanje od jedne tačke ka drugoj vrši u pravcu jedne ose instrumenta, tj. koristi jedan ručni pokretač jer će u tom slučaju učinak biti veći.

Takođe radi bolje ekonomičnosti, kod korišćenja mreže »nepravilne« raspodjele tačkaka, preporuča se prije rada na instrumentu običnim stereoskopom pregledati model i unapred planirati raspored tačkaka koje treba registrirati.

## INTERPOLACIJA DMT

U praktičnoj primjeni DMT — naročito ako se koristi kao osnova za računanje obima zemljanih radova — redovito će se pojaviti potreba da se dođe do podataka o visini neke tačke koja pada unutar figure osnovne podjele mreže sa pravilnom raspodjelom tačkaka, ili pak na pravcu ili unutar nekoliko tačkaka mreže na »nepravilnom« raspodjelom tačkaka.

Budući da je svaka tačka DMT definirana koordinatama,  $Y$ ,  $X$  i  $H$ , to će se za bilo koju tačku za koordinatama  $Y$ ,  $X$ , primjenom određenog načina interpolacije, odrediti njena visina  $H$ .

Interpolacija može biti linearna ili primjenom neke funkcije drugog reda. U praksi se češće koristi linearna interpolacija, pogotovo ako je DMT konstruisan na osnovu dovoljno guste mreže tačkaka, pa će se ovdje dati nekoliko oblika linearne interpolacije u zavisnosti od oblika mreže DMT.

### a). Mreža trokutova

Iz podataka  $Y$ ,  $X$  i  $H$  DMT za 3 tačke (A, B, C) trokuta u kojem pada tražena tačka N sa koordinatama  $Y$ ,  $X$ , formira se sistem jednačina:

$$\begin{aligned} H_A &= a_0 + a_1 Y_A + a_2 X_A \\ H_B &= a_0 + a_1 Y_B + a_2 X_B \\ H_C &= a_0 + a_1 Y_C + a_2 X_C \end{aligned} \quad (1)$$

a zatim riješe koeficijenti  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  i izrazom:

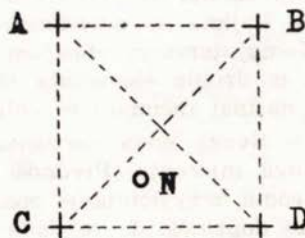
$$H_n = a_0 + a_1 Y_n + a_2 X_n \quad (2)$$

odredi visina  $H$  tačke N.

### b). Mreža kvadrata

Ovdje se mogu primijeniti dva načina:

Slika 7.



Od kvadrata ABCD u kojem pada tačka N načiniti dva trokuta pod uvjetom da tačka N bude u oba (sl. 7).

Po primjeru z slike 7. uzeće se trokuti ABC i CBD. Visina H za tačku N računaće se po sistemu jednačina (1) i (2) iz oba trokuta a kao konačna vrijednost uzeće se aritmetička sredina.

Za mrežu kvadratnog oblika može se primijeniti i metoda tzv. bilinear-nog polinoma. U ovom slučaju iz podataka DMT za tačke ABC i D, formira se sistem jednačina:

$$\begin{aligned} H_A &= a_0 + a_1 Y_A + a_2 X_A + a_3 Y_A X_A \\ H_B &= a_0 + a_1 Y_B + a_2 X_B + a_3 Y_B X_B \\ H_C &= a_0 + a_1 Y_C + a_2 X_C + a_3 Y_C X_C \\ H_D &= a_0 + a_1 Y_D + a_2 X_D + a_3 Y_D X_D \end{aligned} \quad (3)$$

i preko riješenih koeficijenata  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , i  $a_3$  izrazom:

$$H_N = a_0 + a_1 Y_N + a_2 X_N + a_3 Y_N X_N \quad (4)$$

odredi se visina H za tačku N.

Linearna interpolacija po pravcu, ne zahtijeva posebno objašnjenje a kada je u pitanju interpolacija polinomom drugog reda treba voditi računa da se odabere onaj čiji će broj koeficijenata odgovarati broju okolnih tačaka oko tačke čija se visina određuje. Npr. pri korišćenju 6 datih tačaka DMT odgovarao bi polinom slijedećeg oblika:

$$H = f(Y, X) = a_0 + a_1 Y + a_2 X + a_3 Y X + a_4 Y^2 + a_5 X^2 \quad (5)$$

## KORIŠĆENJE DMT

Digitalni model terena može se raznoliko koristiti. Pored već navedene primjene kod izrade informacionih sistema i u prostornom planiranju, DMT se može primijeniti i pri analizi i studijama korišćenja reljefa u razne, kako naučne tako i tehničke svrhe.

Međutim kada je u pitanju DMT sa gušćom mrežom i izrađen fotogrametrijski, njegova primjena najviše dolazi do izražaja pri izradi projekata za razne vrste saobraćajnica, gdje je u velikoj mjeri uticao na promjenu već tradicionalnih postupaka u pojedinim fazama projektiranja. Blagodareći sprezi stereo restitucioni instrument — kompjuter, moguće je izraditi DMT za šire područje (400 — 500 m) u okviru kojeg su moguće varijante horizontalnog položaja trase i visine nivelete. Budući da se sa trase definiše numerički, u državnom koordinatnom sistemu, to je veoma lako za tačke poprečnih profila koji su upravni na trasu odrediti koordinate (takođe u državnom sistemu) po kojima se određenom interpolacijom iz DMT dobiju visine tih tačaka. Kompjuterskom obradom iz podataka tako dobivenih poprečnih profila kao i iz drugih elemenata (širina saobraćajnice, visina nivelete, nagib usjeka i nasipa) računaju se volumeni iskopa i nasipa.

Svaka nova varijanta položaja trase tražila bi po klasičnom postupku nova mjerenja. Prednost je DMT u ovom slučaju u tome što omogućuje veoma brzo dobijanje podataka o poprečnim profilima bez dodatnih mjerenja što doprinosi da se dođe do najekonomičnijeg rješenja trase i nivelete. Za

izrada DMT za ove potrebe koristi se snimanje iz zraka ostvareno u razmjeri 1 : 4 — 5 000.

Broj tačaka koje definišu DMT zavisi kako od oblika reljefa tako i od vrste projekta. Iskustvo pokazuje da se kod idejnog projekta može zadovoljiti tačnost ako se registruje 20 — 40 tačaka po hektaru, dok se kod izvedbenog projekta ide sa gustinom i do 400 tačaka po hektaru.

#### L I T E R A T U R A

1. El Ghazalli: »Progressivne sampling for DTMs« (ITC journal Enschede, 1974—5, str. 655—681).
2. T. Banovec, dipl. ing.: »Konstrukcija digitalnog modela reljefa za teritorij SR Slovenije« (Automatizacija u geodeziji, 1972, str. 292—302).