

**Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet  
Zavod za Geomatiku  
Primijenjena fizikalna geodezija**

**Željko Hećimović**

**3. ZADATAK**

**Računanje utjecaja topografije na veličine za  
modeliranje geoida**

**Zagreb, 2005.**

# 1. Uvod

Topografske mase djeluju na polje ubrzanje sile teže s obzirom na:

- razvedenost topografije,
- anomalnost gustoća topografskih masa.

Topografija stvara nepravilnosti koje imaju kratkovalni utjecaj na polje ubrzanja sile teže. Odstranjivanjem utjecaja topografije dobije se uglačano polje ubrzanje sile teže. Nepravilnosti polja ubrzanja sile teže koje se prouzrokovane topografijom imaju za posljedicu da se problem graničnih vrijednosti za fizičku površinu Zemlje ne može riješiti linearnim matematičkim izrazima. Otklanjanjem utjecaja topografije iz mjerenih veličina se podaci, a time i model polja ubrzanja sile teže, uglađuju.

Ciljevi zadatka su:

- upoznavanje s načinima određivanja utjecaja topografije,
- upoznavanje s matematičkim operatom za računanje utjecajem topografije na veličine za modeliranje polja ubrzanja sile teže,
- upoznavanje sa načinom zadavanja digitalnih modela reljefa,
- ovladavanje praktičnim računanjem utjecaja topografije na anomalije ubrzanja sile teže i undulacije geoida,
- računanje utjecaja topografije na gravimetrijske veličine na lokalnom području sjeverne Hrvatske.

## 2. Računanje utjecaja topografije

Utjecaj topografije na polje ubrzanja sile teže računa se primjenom Newtonovog zakona gravitacije. On je razvijen na osnovu zakonitosti nebeske mehanike u kojima su planeti razmatrani kao točkasta tijela s masom skoncentriranom u težištu te Newtonov zakon gravitacije vrijedi za točkasta tijela. Prilikom modeliranja utjecaja topografije ona se rastavlja na diferencijalna tijela (najčešće prizme) koje se tretiraju kao točkaste mase na koje se primjenjuje Newtonov zakon gravitacije. Ukupan utjecaj topografije dobije se sumiranjem (integriranjem) utjecaja svih prizmi.

Prilikom računanja utjecaja topografije na anomalije ubrzanja sile teže, poremećajno ubrzanje, otklone vertikalna i undulacije koristi se svojstvo da se one mogu izraziti kao funkcionali poremećajnog potencijala. Zbog toga se utjecaj topografije može računati za poremećajni potencijal, a primjenom linearnih funkcionala mogu se izraziti ostale veličine. Poremećajni potencijal u točki P dobijemo razlikom realnog  $W$  i normalnog  $U$  potencijala ubrzanja sile teže

$$T_P = W_P - U_P. \quad (1)$$

Realni potencijal ubrzanja sile teže se dobiva pomoću izraza

$$W_P = G \iiint_{\Omega} \frac{\rho}{r} dV_Q + Z_P, \quad (2)$$

a normalni potencijal pomoću

$$U_P = G \iiint_{\Omega} \frac{\rho_0}{r} dV_Q + Z_P. \quad (3)$$

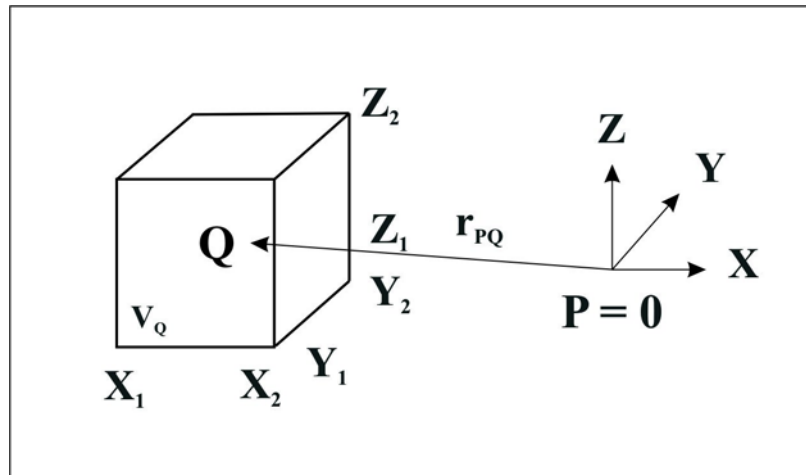
Anomalno polje ubrzanja sile teže u točki P generirano promjenom gustoće ima oblik

$$T_P = G \iiint_{\Omega} \frac{\Delta\rho}{r_{PQ}} dV_Q \quad (4)$$

gdje je

- $G$  gravitacijska konstanta,
- $\Delta\rho = \rho - \rho_0$ ; anomalija gustoće,
- $\rho$  realna gustoća,
- $\rho_0$  referentna gustoća nivo-elipsoida,
- $P$  točka za koju se računa utjecaj,
- $Q$  točka topografije (diferencijalna prizma) u kojoj se nalazi masa koja stvara gravitacijski potencijal,
- $r_{PQ}$  udaljenost između točaka  $P$  i  $Q$ ,  $r_{PQ} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$ ,
- $\Omega$  volumen topografije za koji se provodi integracija (teorijski cijela Zemlja),
- $dV_Q$  diferencijalni element volumena u točki  $Q$ .

Na slici 1 je prikazana prizma s odnosom točaka  $P$  i  $Q$ , koordinatni sustav i udaljenost između točaka.



Slika 1. Pravokutna prizma.

Linearni funkcionali poremećajnog potencijala su definirani pomoću izraza:

- undulacije geoida 
$$N = \frac{T}{\gamma}, \quad (5)$$

- anomalije ubrzanja sile teže 
$$\Delta g = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{r}T, \quad (6)$$

- poremećaj ubrzanja sile teže 
$$\delta g = -\frac{\partial T}{\partial r}, \quad (7)$$

- meridijanska komponenta otklona vertikalala 
$$\xi = \frac{1}{r\gamma} \frac{\partial T}{\partial \varphi}, \quad (8)$$

- komponenta otklona vertikalala u prvom vertikalalu 
$$\eta = -\frac{1}{r\gamma \cos \varphi} \frac{\partial T}{\partial \lambda}. \quad (9)$$

Gustoća je funkcija položaja. U područjima s većom gustoćom utjecaj na polje ubrzanja sile teže je veći u odnosu na područje s manjom gustoćom. Srednja gustoća površinskih masa je  $2,67 \text{ g/cm}^3$ . S povećavanjem dubine se generalno gustoća povećava, a na Moho sloju (30-35 km dubine) doseže vrijednost od  $2,9 \text{ g/cm}^3$ . Prelaskom Moho sloja se gustoća povećava za  $0,4 \text{ g/cm}^3$ . Prema ovom modelu glavne planetarne anomalije gustoće topografije su u oceanskim područjima ( $\Delta\rho = -1,64 \text{ g/cm}^3$ ) i područjima izostatske kompenzacije ( $\Delta\rho = -0,4 \text{ g/cm}^3$ ). Geološke mase u području kore imaju uglavnom manje anomalije gustoće, u rasponu  $\pm(0,1 - 0,2) \text{ g/cm}^3$ . Veće anomalije se u topografiji rijetko javljaju (Forsberg 1997).

Da bi mogli modelirati utjecaj anomalija gustoće na polje ubrzanja sile teže morali bi imati trodimenzionalni model gustoća. Nažalost, takav model nije na raspolaganju te se utjecaj razlika gustoća neće koristiti u ovom zadatku već će se koristiti konstantna gustoća od  $2,67 \text{ g/m}^3$ .

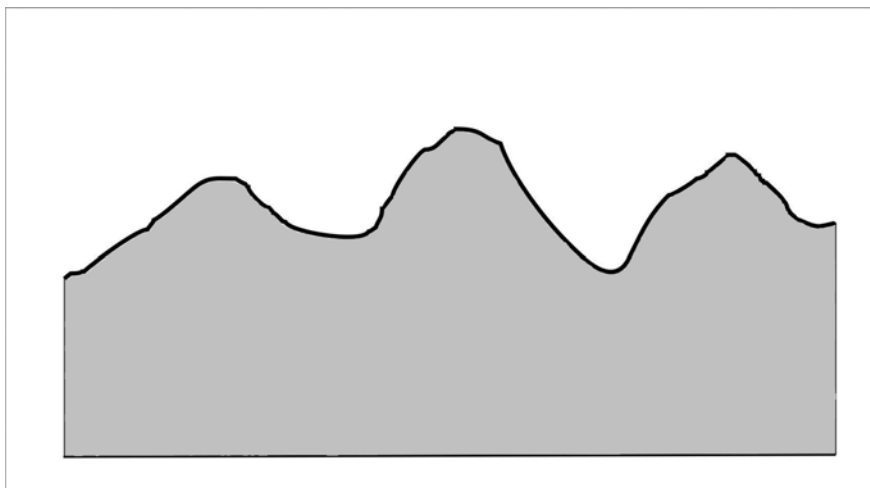
### 3. Utjecaj topografije

Utjecaj topografije na polje ubrzanja sile teže može se izraziti pomoću više veličina:

- **topografska redukcija** - utjecaj svih topografskih masa iznad geoida,
- **korekcija reljefa** - utjecaj nepravilnosti topografije u odnosu na Bouguerovu ploču,
- utjecaj **rezidualnog modela terena (reljefa) (Residual Terrain Modell, RTM)** - utjecaj nepravilnosti topografije u odnosu na glatku plohu na srednjoj visini,
- **izostatska redukcija** - utjecaj masa koje izazivaju hidrostatsku kompenzaciju.

#### 3.1 Topografska redukcija

Pod topografijom se u klasičnom pristupu podrazumijeva dio Zemljine kore od geoida do fizičke površine Zemlje (v. sl. 2). Na oceanima se topografija proteže od geoida, koji se često poistovjećuje s površinom oceana, do dna oceana (batimetrija). Utjecaj topografije na polje ubrzanja sile teže određuje se topografskom redukcijom. Topografska redukcija se u literaturi također naziva i kompletna Bouguerova redukcija. Razlog tome je jer se sastoji od utjecaja Bouguerove ploče i nepravilnosti topografije u odnosu na Bouguerovu ploču.



Slika 2. *Topografska redukcija.*

Za anomalije ubrzanja sile teže topografska redukcija ima oblik

$$\Delta g_T = \Delta g - 2\pi G\rho H + c \quad (10)$$

gdje je  $\Delta g$  anomalija ubrzanja sile teže,  $\rho$  gustoća,  $G$  gravitacijska konstanta,  $H$  ortometrijska visina točke i  $c$  klasična korekcija reljefa. Drugi član u gornjem izrazu je **Bouguerova redukcija** koja uzima u obzir utjecaj Bouguerove ploče postavljenu s obzirom na promatrane točke (**Bouguerova ploča** je definirana uspravno smještenim valjkom koji ima visinu promatrane točke. Valjak je smješten u prostoru tako da se promatrana točka nalazi u središtu gornje plohe valjka, a radijus valjka se odabire s obzirom na područje koje se uzima u obzir prilikom računanja utjecaja). Treći član je klasična redukcija reljefa koja se računa kao odstupanja reljefa od Bouguerove ploče. Ona ima uvijek pozitivan predznak bez obzira dali se radi o višku ili manjku topografskih masa u odnosu na Bouguerovu ploču. Klasična korekcija reljefa se dobije sumiranjem (integralom) utjecaja elementarnih dijelova topografije. U tu

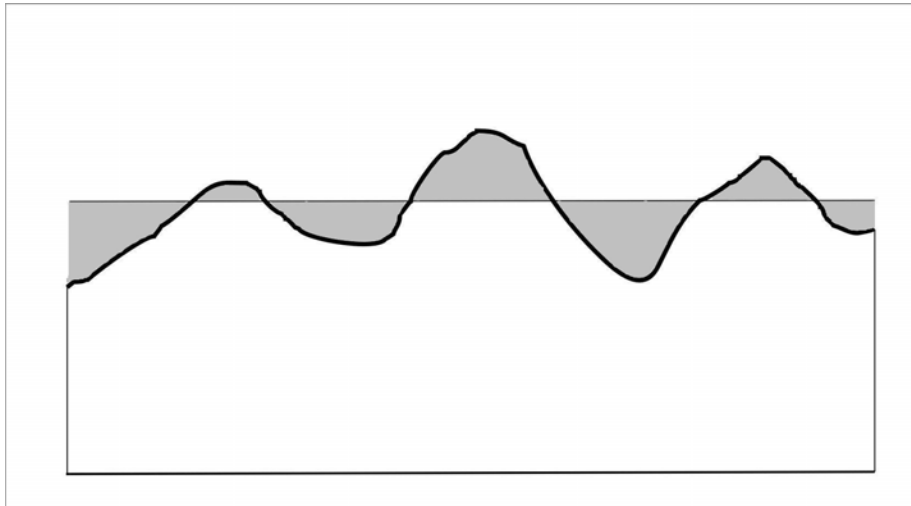
svrhu se teren najčešće podijeli u pravilne diferencijalne prizme. Izraz za **klasičnu redukciju reljefa** ima oblik

$$c_p = G\rho \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{z=H_p}^{z=H(x,y)} \frac{z-H_p}{\left[ (x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2 + (z_Q - z_P)^2 \right]^{3/2}} dx_Q dy_Q dz_Q \quad (11)$$

Klasična korekcija reljefa je uobičajeno jedan red veličine manja od utjecaja Bouguerove ploče.

### 3.2 Korekcija reljefa

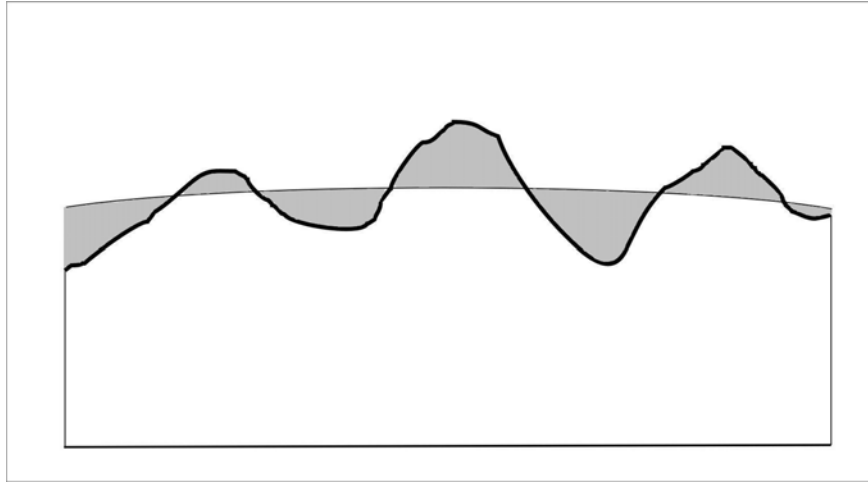
Utjecaj reljefa se javlja zbog ne potpunog obuhvaćanja svih topografskih masa Bouguerovom pločom. Ona obuhvaća topografske mase koje nisu uključene ili praznine koje su bile uključene u Bouguerovu redukciju (v. sl. 3). Ona je poboljšanje Bouguerove redukcije. U prethodnom poglavlju je dan izraz (11) koji se koristi za njeno računanje.



Slika 3. Korekcija reljefa.

### 3.3 Utjecaj rezidualnog modela terena

Rezidualni model terena (reljefa)(Residual Terrain Modell, RTM) je dio topografije koji odstupa (višak i manjak masa) od uglačane plohe na srednjoj visini područja (v. sl. 4).



Slika 4. *Rezidualni model terena.*

RTM-korekcija poremećajnog potencijala s obzirom na srednju visinu  $h_{\text{ref}}$  ima oblik

$$T_{\text{RTM}} = G\rho \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{h_{\text{ref}}}^h \frac{1}{\left[ (x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2 + (z_Q - z_P)^2 \right]^{3/2}} dx_Q dy_Q dz_Q. \quad (12)$$

Primjenom Brunsovog teorema dobivamo za RTM-undulacije geoida

$$N_{\text{RTM}} = \frac{G\rho}{\gamma} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{h_{\text{ref}}}^h \frac{1}{\left[ (x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2 + (z_Q - z_P)^2 \right]^{3/2}} dx_Q dy_Q dz_Q. \quad (13)$$

RTM utjecaj reljefa na anomalije ubrzanja sile teže ima oblik

$$\Delta g_{\text{RTM}} = G\rho \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{h_{\text{ref}}}^h \frac{z - h_P}{\left[ (x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2 + (z_Q - z_P)^2 \right]^{3/2}} dx_Q dy_Q dz_Q \quad (14)$$

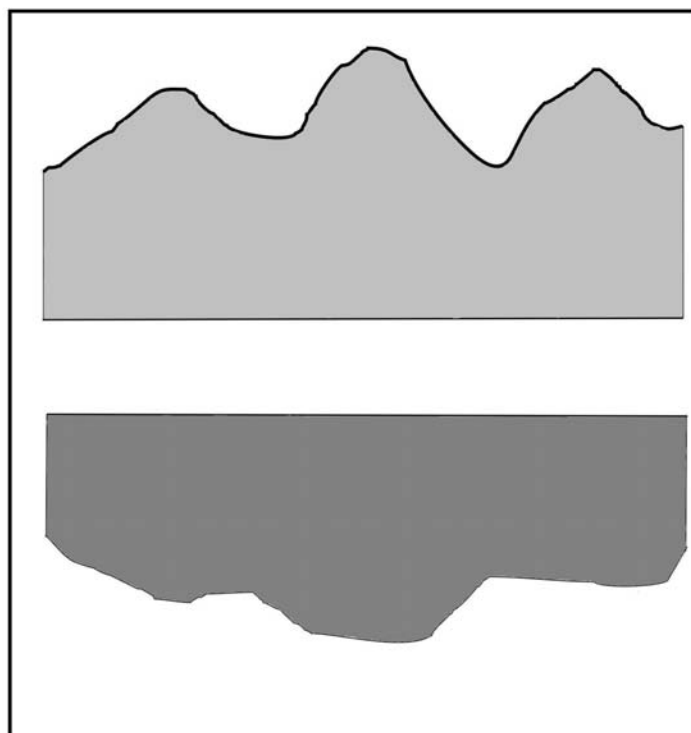
RTM utjecaj na komponente otklona vertikalna

$$\begin{Bmatrix} \xi_{\text{RTM}} \\ \eta_{\text{RTM}} \end{Bmatrix} = -\frac{1}{g_0} \begin{Bmatrix} dT_{\text{RTM}} / dx \\ dT_{\text{RTM}} / dy \end{Bmatrix}. \quad (15)$$

gdje su  $h$  topografske visine dane digitalnim modelom reljefa.

### 3.4 Izostatska redukcija

Zemljina kora je u labilnoj hidrostatskoj ravnoteži s obzirom na plašt Zemlje. Prema Airyevom modelu da bi izdignuti (planinski) dijelovi topografije bili u lokalnoj hidrostatskoj ravnoteži moraju biti dublje uronjeni u plašt Zemlje (v. sl. 5). To znači da je na planinskim područjima Zemljina kora deblja i dublje uronjena u plašt Zemlje. Na oceanima je kora Zemlje tanja nego na kopnenim područjima.



Slika 5. *Izostatska redukcija.*

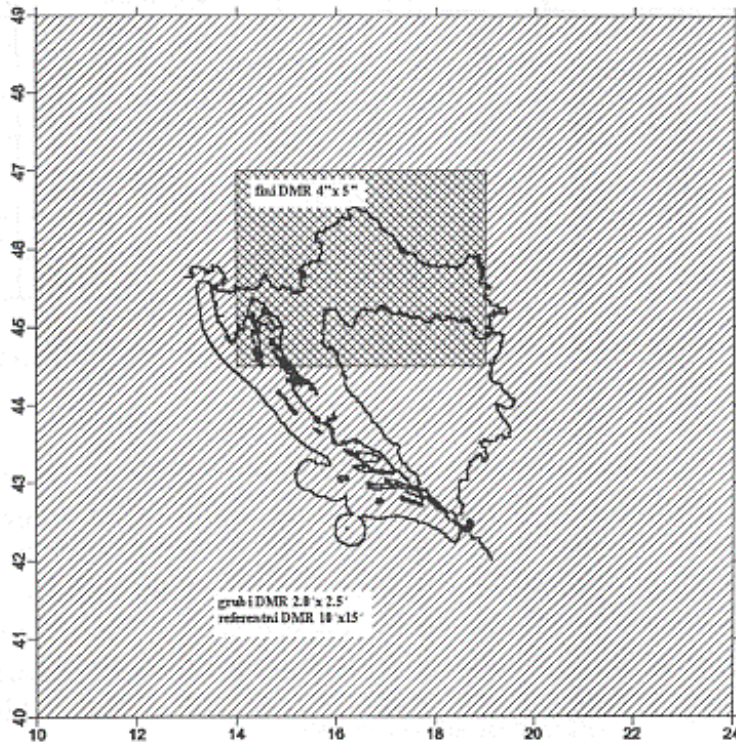
Prilikom opisanih postupaka su korištene metode numeričke integracije. Osim metode numeričke integracije utjecaj reljefa se može računati i primjenom Fourierove transformacije (Brkić, Bašić 2000, Brkić 2001, Hećimović 2001). Brza Fourierova Transformacija (Fast Fourier Transformation FFT) je tehnika kojom se može obraditi veliki broj podataka u relativno kratkom vremenu. Prilikom računanja utjecaja topografije javlja se veliki broj podataka te prednosti FFT metode dolaze do punog izražaja.

#### **4. Digitalni modeli reljefa**

Digitalni modeli reljefa koji se koriste za modeliranje polja ubrzanja sile teže (geoida) moraju pokrivati šire područje od područja za koje se provodi modeliranje. Kako gusto moraju biti očitane visine reljefa ovisi o razvedenosti polja ubrzanja sile teže koji prvenstveno ovisi o visinskim razlikama reljefa. U brdsko-planinskim predjelima bi DRM morao biti gušći jer znatnije utječe na anomalnost polja ubrzanja sile teže. Za potrebe računanja utjecaja topografije u ovom zadatku koristit će se tri DRMa različitih rezolucija:

- fini DMR s rezolucijom 4"x 5",
- grubi DMR s rezolucijom 2,0' x 2,5',
- referentni DMR s rezolucijom 6' x 7,5'.

Na slici 6 je prikazana pokrivenost DMRa koji se koriste prilikom računanja utjecaja topografije.



Slika 6. Prostorno rasprostiranje DMRa.

## 5. Programa TC za računanje utjecaja topografije na veličine za modeliranje geoida

Program TC (Forsberg 1997) je u širokoj primjeni za modeliranje utjecaja topografije na elemente polja ubrzanja sile teže. Program računa utjecaj topografije masa iznad nivo plohe mora uz primjenu konstantne gustoće masa, tj. integriranje (sumiranje) utjecaja reljefa se primjenjuje na homogene, pravokutne prizme. Napisan je u programskom jeziku FORTRAN. Program se koristi za školovanje u ljetnim školama modeliranja geoida pod pokroviteljstvom International Association of Geodesy (IAG). To govori o njegovom značaju za modeliranje polja ubrzanja sile teže. Program TC je mnogobrojnim primjenama obilježio razvoj modeliranja utjecaja topografije i citiran je u mnogobrojnoj znanstvenim i stručnim publikacijama i člancima.

### 5.1 Korištenje TC programa

Za rad s programom TC mora se prirediti više ulaznih datoteka. Najvažnija ulazna datoteka je datoteka ulaznih parametara za izvođenje programa. Program se izvodi u DOS okruženju. Do DOS okruženja u Windows operacijskim sustavu dolazimo izvođenjem naredbe "CMD" u START - RUN izborniku. Naredbom CD izabere se direktorij s TC programom i ulaznim datotekama. Program se starta naredbom

...>TCM.EXE .

Na monitoru se javi poruka

...>INPUT DATA FILE .

Unese se naziv ASCII datoteke s ulaznim parametrima (npr. TcJobGPS.TXT). Program ispisuje podatke na monitor i u datoteku s imenom koje je zadano u ulaznoj datoteci.

## 5.2 Opis ulaznih parametara za izvođenje TC programa

Programa TC ima više načina primjene koje se definiraju odabirom ulaznih parametara. Njima se definiraju ulazni podaci, postupak modeliranja i izlazne veličine. Opis najvažnijih ulaznih parametara:

- statfile: popis stajališta (ime, širina, duljina, visina točke),
- dtmfile1: detaljni DMR,
- dtmfile2: grubi DMR,
- dtmfile3: referentni DMR,
- outfile: izlazna datoteka,
- itype: definira izlazne veličine:
  - 1 poremećaj ubrzanja sile teže (dg) - mgal
  - 2 komponente otklona vertikalna (ksi, eta) - arcsec
  - 3 undulacije (ha) - metar
  - 4 dg, ksi, eta
  - 5 anomalija ubrzanja sile teže (dg - ind.eff.)
  - 6 anomalija ubrzanja sile teže, ksi, eta, ha
  - 7 tzz vertikalni gradijent ubrzanja sile teže
  - 8 txx, tyy, tzz gradijenti ubrzanja sile teže
  - 9 svi gradijenti
- ikind: definira koji utjecaj se računa:
  - 1 utjecaj topografije
  - 2 isostatski utjecaj
  - 3 korekcija reljefa
  - 4 residualni utjecaj reljefa
- izcode: 0 stajalište na terenu, promjena visine
  - 1 promjena modela reljefa
  - 2 slobodno stajalište
  - 3 slobodno stajalište, bez spliajn progušćivanja
- igtyp1: definira format ulaznih DMRa:
  - 1 mreža reljefa u standardnom formatu,
  - 2 binarni rc8000 format
  - 3 ngs 0.5' x 0.5' modificirani format
- fi1, fi2, la1, la2: granice za koje je računat utjecaj topografije,
- r1, r2: minimalni i maksimalni radijus (km) za koji se računa utjecaj,
- n: broj stajališta za koje se računa utjecaj. Ako je n = 0 treba zadati dodatne parametre mreže, za n=-1 računanje se provodi za sve točke,
- latmin, latmax, lonmin, lonmax, dlatmin, dlonmin, elev: minimalna širina računanja, maksimalna širina, minimalna duljina, maksimalna duljina, prirast širine, prirast duljine i visina.

Datoteka s ulaznim parametrima može imati više oblika koji ovise o korištenim ulaznim podacima, traženim računanjima i izlaznim podacima.

### 5.3 Opis ulaznih datoteka

U nastavku su dani primjeri ulaznih datoteka.

#### **Primjer datoteke s ulaznim parametrima za anomalije ubrzanja sile teže**

Parametri TC programa se zadaju pomoću ASCII datoteke. Izgled ulazne datoteke se razlikuje ovisno o ulaznim podacima, načinu obrade i željenim izlaznim podacima. Primjer izgleda ulazne datoteke (TcJob\_an.TXT) prilagođen računanju utjecaja za anomalije ubrzanja sile teže ima oblik

```
Anomal.in
h_dmr4x5.dm
Dmr20x25.dm
h_6x75.dm
Anomal.out
5
4
1
1
44.0005555556 46.9994444444 14.0006944444 18.9993055556
25 1000
-1
44.5 47.0 14.5 18.5 60 90 0.0
```

#### **Primjer datoteke s ulaznim parametrima za GPS/nivelmanske undulacije**

Primjer izgleda ulazne datoteke (TcJobGPS.TXT) prilagođen računanju utjecaja za undulacije geoida ima oblik

```
GPS.in
h_dmr4x5.dm
dmr20x25.dm
h_6x75.dm
gps.out
3
4
1
1
44.0005555556 46.9994444444 14.0006944444 18.9993055556
```

25 1000  
-1  
44.5 47.0 14.5 18.5 60 90 0.0

## Ulazna datoteka anomalija ubrzanja sile teže

Početak i kraj datoteke s anomalijama ubrzanja sile teže (Anomali.in) koja se navodi u ulaznoj datoteci (TcJob\_an.txt) ima oblik

```
1 46.993060 17.027500 147.82 9.46
2 46.972780 17.935560 114.88 30.16
***
1490 44.750720 17.274730 172.81 28.76
1491 44.750020 17.385130 221.41 38.36
```

U prvom stupcu su nazivi točaka, u drugom geodetska širina [°], u trećem geodetska duljina [°], u četvrtom visina točke [m] i u petom anomalije ubrzanja sile teže [mGal].

## Ulazna datoteka GPS/nivelmanskim undulacija

Početak i kraj datoteke s GPS/nivelmanskim undulacijama (gps.in) koja se navodi u ulaznoj datoteci (TcJobGPS.TXT) ima oblik

```
1 45.593490 17.105580 185.157 44.963
2 45.578810 15.575060 223.546 45.381
***
40 46.107640 17.035550 131.460 44.656
41 45.363370 16.120560 108.970 45.388
```

U prvom stupcu su nazivi točaka, u drugom geodetska širina [°], u trećem geodetska duljina [°], u četvrtom visina točke [m] i u petom GPS/nivelmanske undulacije [m].

## Ulazna datoteka za grubi DMR

Sadržaj ulazna ASCII datoteka za grubi DMR (DMR20x25.DM) s rezolucijom 2,0' x 2,5' ima oblik

```
40.01667000 48.98333000 10.02083000 23.97917000 .033333334 .041666667
 464 464 467 467 483 483 517 517 517 517 489 489
 463 463 461 461 475 475 512 512 518 518 492 492
***
-1266 -1266 -1664 -1664 -1519 -1519 -1420 -1420 -1775 -1775 -2021 -2021
-1265 -1265 -1659 -1659 -1529 -1529 -1449 -1449 -1789 -1789 -2021 -2021
```

Dana su samo prva tri i zadnja dva reda datoteke. Prvi red je dan kompletan, a u ostalim redovima, s visinama, je dano samo prvih 12 stupaca. U prvom redu su parametri pravilnog polja točaka DMRa: najmanja i najveća širina [°], najmanja i najveća duljina [°] i prirast po širini i duljini [°]. U sljedećim redovima su dane visine reljefa [m].

## Ulazna datoteka za fini DMR

Sadržaj ulazna ASCII datoteka za fini DMR (H\_DMR4x5.DM) s rezolucijom 4"x 5" ima oblik

```
44.50055556 46.99944444 14.00069444 18.99930556 .00111111 .00138889
1700 1700 1700 1600 1600 1600 1500 1500 1450 1400 1340 1340
```

Zbog velikog broja podataka (47 Mb) dana su samo prva dva reda datoteke. U drugom redu je dano samo prvih 12 stupaca. U prvom redu su parametri pravilnog polja točaka DMRa: najmanja i najveća širina [°], najmanja i najveća duljina [°] i prirast po širini i duljini [°]. U sljedećim redovima su dane visine reljefa [m].

## Ulazna datoteka za referentni DMR

Sadržaj ulazna ASCII datoteka za referentni DMR (H\_6x75.DM) s rezolucijom 6' x 7,5' ima oblik

```
40.05000000 48.95000000 10.06250000 23.93750000 .10000000 .12500000
 468  489  520  491  435  468  534  505  529  521  476  478
 523  566  553  490  457  450  508  512  493  469  421  435
                    ***
-1368 -1615 -1806 -1984 -2026 -2076 -2436 -2657 -2765 -2832 -2856 -2861
-1392 -1580 -1603 -1951 -2093 -2254 -2554 -2678 -2804 -2847 -2851 -2836
```

Dana su samo prva tri i zadnja dva reda datoteke. U drugom redu je dano samo prvih 12 stupaca. U prvom redu su parametri pravilnog polja točaka DMRa: najmanja i najveća širina [°], najmanja i najveća duljina [°] i prirast po širini i duljini [°]. U sljedećim redovima su dane visine reljefa [m].

## 5.4 Izlazni podaci

Prilikom izvođenja CT programa ispisuje podatke na monitor, a rezultati se pohranjuju u datoteke. U nastavku je dan pregled izlaznih podataka.

### Pregled izlaznih podataka na monitoru

Prilikom izvođenja TC programa ispisuje se niz podataka na monitoru računala (v. sl. 7).

```

INPUT DATA FILE
tcjobgps.txt

===== results =====
stat   fi      la      h      dtmelv   dg/anom   ksi      eta      ha
  1  45.5935  17.1056  185.2  179.0   .00000   .00000   .00000   .00767
  2  45.5788  15.5751  223.5  208.0   .00000   .00000   .00000   .00408
  3  44.9696  15.0669  488.9  485.0   .00000   .00000   .00000   .01657
  4  45.3873  15.3192  460.4  456.0   .00000   .00000   .00000   .00598
  5  45.2204  16.7148  184.0  170.0   .00000   .00000   .00000   .00757
  6  45.7427  16.4185  150.5  145.0   .00000   .00000   .00000   .01282

```

Slika 7. Ispis podataka na monitor.

## Izlazna datoteka anomalija ubrzanja sile teže

Podaci za anomalije ubrzanja sile teže se pohranjuju u datoteku s imenom (Anomal.out) koje je zadano u datoteci s ulaznim parametrima (TcJob\_an.TXT) koja ima izgled

```

===== tc terrain effect computation =====
- inputcodes: 5 4 1 1
  maxarea:      44.00      47.00      14.00      19.00
  computation radii:  25.0 1000.0 km
- stations: 1491, in area:  44.7500  46.9931  14.5013  18.4894

detailed elevation grid:

--- gridlab      44.5006  46.9994  14.0007  18.9993      .0011      .0014
22503600
--- selected      44.4917  46.9994  14.1382  18.8535      .0011      .0014
points: 2258 x 3396 = 7668168, zero values:  636, missing/9999: 27168
hmin hmax mean std.dev.:  -96  2559  322.99  294.75
corner values:  1400  159  9999  9999

outer zone elevation grid:

--- gridlab      40.0167  48.9833  10.0208  23.9792      .0333      .0417  270
336
--- selected      44.0167  46.9833  14.0208  18.9792      .0333      .0417
points:  90 x  120 =  10800, zero values:  5, missing/9999:  0
hmin hmax mean std.dev.:  -96  1835  363.21  336.75
corner values:  1442  95  -70  1127

reference elevation grid:

--- gridlab      40.0500  48.9500  10.0625  23.9375      .1000      .1250  90
112
--- selected      43.9500  47.0500  13.9375  19.0625      .1000      .1250
points:  32 x  42 =  1344, zero values:  1, missing/9999:  0
hmin hmax mean std.dev.:  -92  1763  372.31  344.17
corner values:  1449  99  -65  1072
      1  46.99306  17.02750  147.82  -1.9929
      2  46.97278  17.93556  114.88  -8.3154
      ***
1490  44.75072  17.27473  172.81  -18.8568
1491  44.75002  17.38513  221.41  -11.5272

--- average no of prisms/exact formulas pr station:  225993  5715
--- difference given - dtm inferred station heights:

```

min max mean stddev: -217. 551. -4. 30.

Na početku i kraju datoteke su podaci o provedenim računanjima. Pri dnu datoteke se u pet stupaca nalaze podaci za točke s anomalijama ubrzanja sile teže. U prvom stupcu su nazivi točaka, u drugom geodetske širine [°], u trećem geodetske duljine [°], u četvrtom visine točaka [m] i u petom utjecaji na anomalije ubrzanja sile teže [mGal].

## Izlazna datoteka GPS/nivelmanskih undulacija

Podaci za GPS/nivelmanske undulacije se pohranjuju u datoteku s imenom (GPS.out) koje je zadano u datoteci s ulaznim parametrima (TcJobGPS.TXT) koja ima izgled

```
==== tc terrain effect computation =====
- inputcodes: 3 4 1 1
  maxarea:      44.00      47.00      14.00      19.00
  computation radii:      25.0 1000.0 km
- stations:    41, in area:  44.9015  46.4962  15.0669  17.9808

detailed elevation grid:

--- gridlab    44.5006  46.9994  14.0007  18.9993      .0011      .0014
22503600
--- selected   44.6439  46.7539  14.7021  18.3451      .0011      .0014
points: 1900 x 2624 = 4985600, zero values: 636, missing/9999: 0
hmin hmax mean std.dev.: -89 2126 295.41 244.21
corner values: 1100 150 -67 168

outer zone elevation grid:

--- gridlab    40.0167  48.9833  10.0208  23.9792      .0333      .0417  270
336
--- selected   44.0167  46.9833  14.0208  18.9792      .0333      .0417
points: 90 x 120 = 10800, zero values: 5, missing/9999: 0
hmin hmax mean std.dev.: -96 1835 363.21 336.75
corner values: 1442 95 -70 1127

reference elevation grid:

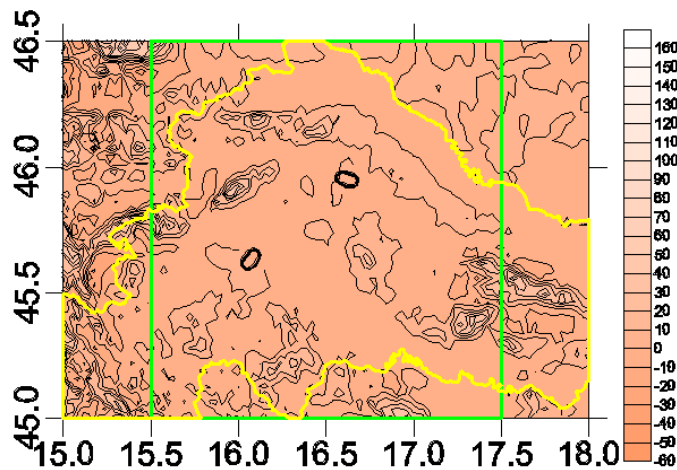
--- gridlab    40.0500  48.9500  10.0625  23.9375      .1000      .1250  90
112
--- selected   43.9500  47.0500  13.9375  19.0625      .1000      .1250
points: 32 x 42 = 1344, zero values: 1, missing/9999: 0
hmin hmax mean std.dev.: -92 1763 372.31 344.17
corner values: 1449 99 -65 1072
      1 45.59349 17.10558 185.16 .0077
      2 45.57881 15.57506 223.55 .0041
      ***
      40 46.10764 17.03555 131.46 .0041
      41 45.36337 16.12056 108.97 -.0056

--- average no of prisms/exact formulas pr station: 225437 5459
--- difference given - dtm inferred station heights:
  min max mean stddev: -5. 81. 12. 19.
```

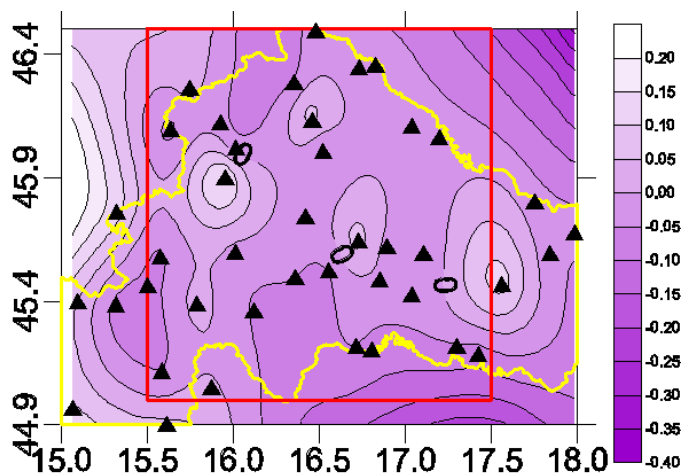
Na početku i kraju datoteke su podaci o provedenim računanjima. Pri dnu datoteke se u pet stupaca nalaze podaci za GPS/nivelmanske točke. U prvom stupcu su nazivi točaka, u drugom geodetske širine [°], u trećem geodetske duljine [°], u četvrtom visine točaka [m] i u petom utjecaji na undulacije geoida [m].

## 6. Zaključak

Topografija prouzrokuje kratkovalni utjecaj na polje ubrzanja sile teže. On je u planinskim područjima veći u odnosu na ravničarska područja. Odstranjivanjem utjecaja topografije u *remove-restore* postupku iz ulaznih veličina za modeliranje se dobiju uglučane vrijednosti što ima za posljedicu modeliranja uglučanijeg modela polja ubrzanja sile teže. Nakon modeliranja bez kratkovalnog utjecaja topografije, se u *remove-restore* postupku vraća kratkovalna, fina struktura polja ubrzanja sile teže. RTM-utjecaj na anomalije ubrzanja sile teže i undulacije geoida na testnom području su dane na slikama 7 i 8.



Slika 7. RTM-anomalije ubrzanja sile teže na testnom području.



Slika 8. RTM-undulacije na testnom području.

## Literatura

- Brkić, M. (2001): Trodimenzionalno modeliranje zemljine kore za potrebe geodezije i geofizike. Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet. Doktorska disertacija. Zagreb 2001.
- Brkić, M., T. Bašić (2000): Računanje korekcije reljefa u prostornoj i spektralnoj domeni. Geodetski list. God. 54(77) 4, str. 247-318, Zagreb.
- Forsberg, R. (1997): Terrain Effects in Geoid Computations. Str. 149-182. U: Sanso, F. (Ed.) (1997): International School for the Determination and Use of the Geoid. Lecture Notes. International Geoid Service, IIGAR - Politecnico di Milano.
- Hećimović, Ž. (2001): Modeliranje referentne plohe visinskih sustava. Doktorska disertacija. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2001.