

SPOJITEV SLOVENSKEGA IN AVSTRIJSKEGA DRŽAVNEGA KOORDINATNEGA SISTEMA TER DIGITALNEGA MODELA RELIEFA

mag. Dalibor Radovan

Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG, Ljubljana

doc.dr. Bojan Stopar

FGG-Oddelek za geodezijo, Ljubljana

Prispelo za objavo: 1997-09-29

Pripravljeno za objavo: 1997-09-29

Izvleček

Opisana sta slovenski in avstrijski državni koordinatni sistem skupno z izračunom parametrov prostorske transformacije med njima. Parametri so bili uporabljeni za transformacijo avstrijskega digitalnega modela reliefa v slovenski državni koordinatni sistem. Izvedeni so bili predelava, interpolacija in spojitev s slovenskim digitalnim modelom reliefa v mrežo z velikostjo celice 100 x 100 m.

Ključne besede: Avstrija, digitalni model reliefa, državni koordinatni sistem, interpolacija, Slovenija, transformacija

1 MOTIV

Geodetska uprava Republike Slovenije (GU) je po dogovoru z dunajskim Bundesamt-om fuer Eich- und Vermessungswesen (BEV) odkupila del digitalnega modela reliefa (DMR), ki pokriva avstrijsko državno ozemlje na zahodu skoraj do Lienza, na vzhodu do madžarske meje, na severu pa skoraj do Salzburga in Wiener Neustadta. Površina območja je za približno 30 odstotkov večja od površine Slovenije. Pripojitev avstrijskega DMR-ja k slovenskemu, ki jo je izvedel Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG v sodelovanju s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo (Radovan, Stopar, 1996, Radovan et al., 1997), bi bila relativno preprosta naloga, če ne bi bila DMR-ja v dveh koordinatnih sistemih z različno geodetsko in projekcijsko osnovo. Parametri za preračunavanje (transformacijo) položaja točk med državnima koordinatnima sistemoma niso bili znani, zato je bila pred spajanjem modelov potrebna njuna matematična primerjava.

2 DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM

Koordinatna sistema Slovenije in Avstrije, v katerih se izvaja državna geodetska kizmera, se med seboj razlikujeta po položaju, orientaciji (zasuku) in merilu, tako

v horizontalnem kot tudi v vertikalnem smislu. Zato ima npr. poljubna točka na državni meji v vsaki državi drugačni koordinati in nadmorsko višino, pa čeprav je z obeh strani zanesljivo izmerjena. Razlogi za neskladje so v neizbežnih pogreških astronomske orientacije triangulacijskih mrež, razlikah v višinskih sistemih in kartografskih projekcijah obeh držav. Koordinatna sistema sta zato lokalna, saj veljata le na ozemlju posamezne države. V nadaljevanju si njune lastnosti oglejmo nekoliko podrobneje.

O bema horizontalnima koordinatnima sistemoma je skupna referenčna ploskev, ki aproksimira Zemljin geoid. To je Besselov rotacijski elipsoid, določen leta 1841. Skupna je tudi izhodiščna točka triangulacije Hermannskogel na Dunaju, vendar astronomske orientaciji obeh triangulacij nista enaki zaradi različnih izboljšav prvotnih rezultatov. Podobno velja tudi za višinska sistema, ki imata sicer skupno izhodišče – reper pri tržaškem mareografu na pomolu Sartorio.

Kartografski projekciji na obeh straneh meje sta v matematični osnovi enaki, vendar pa so njuni parametri zelo različni. Gre za Gauss-Kruegerjevo projekcijo, ki ima v Sloveniji za os X projekcijo srednjega meridiana 5. cone, ki je 15° vzhodno od Greenwicha. Linijsko merilo točk na srednjem meridianu je pri nas v geodetski praksi enako 0,9999. Avstrijski državni koordinatni sistem pa je sestavljen iz treh meridijskih con in zato treh pravokotnih koordinatnih sistemov s srednjimi meridiani con 28°, 31° in 34° vzhodno od Ferra, pri čemer je razlika med začetnima meridianoma Greenwich in Ferro izražena z zaokroženo Albrechtovo konstanto, $\Delta\lambda = \lambda_{\text{Ferro}} - \lambda_{\text{Greenwich}} = -17^{\circ}40'00''$, linijsko merilo točk na srednjem meridianu pa je enako 1,0000. Projekcijski sistemi posameznih con se imenujejo M28, M31 in M34.

3 DIGITALNI MODEL RELIEFA

DMR Slovenije je pravilno omrežje kvadratnih celic velikosti 100 x 100 m (DMR 100). Mreža je vzporedna z osema državnega pravokotnega sistema. Podatki so v izvorniku zapisani v blokne velikosti 1 x 1 km s po stotimi vrednostmi nadmorskih višin. Vsakemu bloku pripada en sam par koordinat ($y_{\text{GK}}, x_{\text{GK}}$), ki se nanaša na JZ vogal bloka. Koordinate posameznih celic je možno enostavno izračunati. Nadmorske višine so navedene v celih metrih. Natančnost slovenskega DMR 100 je bila ocenjena z metodo primerjave modela z višinami geodetskih točk glede na frekvenčne in amplitudne lastnosti reliefa in znaša (Radovan, 1991):

- za nerazgiban teren 3,3 m
- za razgiban teren 9,0 m
- za zelo razgiban teren 16,1 m in
- za DMR 100 kot celoto 10,0 m.

Zajet je bil kartometrično z linearno interpolacijo nadmorskih višin iz plastnic, prikazanih na temeljnih topografskih načrtih v merilu 1:5 000 in 1:10 000, na manjšem delu pa tudi na topografski karti v merilu 1:25 000. Podatki so dosegljivi na GU-ju v več različnih ASCII formatih kot posamične točke, profili ali mrežni bloki.

Kupljeni DMR Avstrije pa je pravilno kvadratno omrežje celic velikosti 50 x 50 m, s pomekod blizu meje z Madžarsko pa tudi 100 x 100 m. Po dogovoru med GU-jem in BEV-om lahko v Sloveniji uporabljamo le razredčen model z gostoto 100 x 100 m. Mreža DMR-ja je lokalno vzporedna s projekcijo srednjih meridianov

con M28, M31 in M34, kar pomeni, da so posamezni deli med seboj zasukani. Nadmorske višine so bile zajete fotogrametrično z analitičnim izvrednotenjem stereoparov, naknadno obdelane z interpolacijo in izražene v metrih na dve decimalki. Natančnost je po informacijah BEV-a približno 1 do 2 m za ravninski teren in 10 do 15 m za gozdnat in hribovit teren. DMR razpečuje v več oblikah; dobili smo zapisanega po trigonometričnih sekcijah v 320 ASCII datotekah, pri čemer je imela vsaka glavo z metapodatki, ki so določali številne lastnosti posameznega bloka in detajle formata. Kontrola med sekcijami je bila zagotovljena s prekrivanjem robnih profilov.

4 TRANSFORMACIJA MED DRŽAVNIMA KOORDINATNIMA SISTEMOMA

Za ugotovitev medsebojnega položaja obeh koordinatnih sistemov je treba imeti Zskupne geodetske točke, ki imajo znan položaj v obeh sistemih. Te so bile po pričakovanju podane le v neposredni bližini slovensko-avstrijske državne meje kot mejne točke in točke obmejne izmeritvene mreže. Državna meja med Avstrijo in Slovenijo je razdeljena na 27 mejnih odsekov, ki potekajo od tromeje z Madžarsko do tromeje z Italijo. Vsak od njih je zaključena celota, v okviru katere se izvajajo tehnična geodetska dela za določitev položaja mejnih točk. Za vsak mejni odsek se izmera in računanje izvajata v vsaki državi posebej. Po usklajevanju in odpravljanju morebitnih nesoglasij se sprejme uradna mejna dokumentacija, ki vsebuje tudi seznam točk, verificiran na obeh straneh. Koordinate točk so s tem dane v obeh državnih koordinatnih sistemih in imajo uradno veljavo.

Mejnih odsekov s tako usklajenimi koordinatami pa je le 7. Za te so bile prevzete M koordinate iz uradne mejne dokumentacije Oddelka za državno mejo na GU-ju. Za ostale mejne odseke so bile koordinate prevzete iz seznamov trigonometričnih točk na Oddelku za osnovna dela Geodetskega zavoda Slovenije in od BEV-a. Skupne točke so bile na avstrijski strani podane v conah M 31 in M 34, kar je še dodatno zapletlo postopek. Sprva so bile s poskusnimi transformacijami po mejnih odsekih odkrite napake in neskladja v podatkih, nato pa je bilo izvedenih več različnih tipov ravninskih in prostorskih transformacij med slovenskim ter avstrijskim sistemom. Najboljši in tudi teoretično najprimernejši rezultati so bili dobljeni s prostorsko 7-parametrično transformacijo, ki se lahko izvede le v tridimenzionalnem kartezičnem koordinatnem sistemu (X, Y, Z) z naslednjim zaporedjem korakov:

- Gauss-Kruegerjeve ravninske koordinate skupnih točk Y_{GK} in X_{GK} v slovenskem koordinatnem sistemu in obeh avstrijskih meridianskih conah analitično pretvorimo v elipsoidne geografske koordinate λ in φ .
- Vsakemu paru geografskih koordinat (λ, φ) pripišemo znano nadmorsko višino H .
- Tako dobljeno trojico elipsoidnih koordinat (λ, φ, H) analitično preračunamo v prostorske kvazigeocentrične koordinate (X, Y, Z) .
- S primerjavo med skupnimi točkami 5. cone in con M 31 ter M 34 izvedemo prostorsko 7-parametrično transformacijo. Rezultat so z izravnavo ocenjeni parametri transformacije med sistemoma:

(X, Y, Z) izračunano iz con M 31 in M 34 \leftrightarrow (X, Y, Z) izračunano iz 5.cone

Za ocenitev parametrov transformacije je uporabljenih 111 skupnih točk, pri čemer jih je na avstrijski strani 29 v zahodnje ležeči coni M 31 in 82 v vzhodnejši coni M 34. Srednji pogrešek transformacije je 0,192 m. Ravninska odstopanja so skoraj na vseh skupnih točkah manjša od 1 m, večinoma pa so velika okrog 0,2 m. Analiza višinskih odstopanj na skrajnih vogalih avstrijskega DMR-ja je pokazala, da ta tudi v najneugodnejših položajih ne presegajo 1,5 m. Glede na nehomogeno in približno kolinearno razporeditev skupnih točk vzdolž meje je bilo ocenjeno, da natančnost parametrov popolnoma zadovoljuje svoj namen, tj. transformacijo avstrijskega DMR-ja. S podobno natančnostjo rezultatov so bili z izravnavo ocenjeni tudi parametri obratne transformacije iz slovenskega v avstrijski sistem.

5 SPOJITEV DIGITALNIH MODELOV RELIEFA

Z ocenjenimi parametri transformacije je bil avstrijski DMR preračunan v slovenski koordinatni sistem. Pri tem je bilo treba opraviti obsežna pripravljalna in zaključna dela, ki so vključevala:

- prepis 320 datotek z avstrijskim DMR-jem v enostaven ASCII zapis brez redundantnih metapodatkov,
- izravnavo nadmorskih višin točk DMR-ja na robovih sosednjih blokov, ki so različne zaradi interpolacije izvornih fotogrametričnih podatkov,
- spojitev 320 izravnanih datotek v dve datoteki za coni M 31 in M 34,
- izravnavo nadmorskih višin parov točk DMR-ja s premajhno medsebojno tolerančno razdaljo na območju, kjer se (nevzporedno) prekrivata mreži DMR-ja iz con M 31 in M 34,
- spojitev dveh datotek DMR-ja iz con M 31 in M 34 v eno samo skupno,
- prostorsko transformacijo skupne datoteke avstrijskega DMR-ja v slovenski koordinatni sistem z danimi parametri,
- nelinearno interpolacijo transformiranega avstrijskega DMR-ja v mrežo in format slovenskega DMR 100,
- obrez interpoliranega avstrijskega DMR-ja na državno mejo in odstranitev odvečnih točk na našem ozemlju,
- spojitev slovenskega in avstrijskega DMR-ja v skupno datoteko,
- prepis spojenega DMR-ja v standardno obliko, ki jo za distribucijo uporablja GU,
- položajno in višinsko kontrolo stikanja celic na državni meji s hipsometričnim in aksonometričnim kartiranjem.

6 LASTNOSTI SPOJENEGA DMR 100

V preglednici 1 so predstavljene osnovne lastnosti obstoječega DMR 100 in po opisanem načinu spojenega modela.

<i>LASTNOST</i>	<i>DMR 100</i>	<i>SPOJENI DMR</i>
<i>velikost datoteke</i>	4,1 MB	9,5 MB
<i>število nepraznih blokov (po 1 km²)</i>	21.270	48.999
<i>število nadmorskih višin</i>	2.093.161	4.863.672
<i>razpon nadmorskih višin (m)</i>	1 – 2.864	1 – 3.321
<i>najmanjša koordinata Y (m, 5. cona)</i>	5.375.000	5.354.000
<i>najmanjša koordinata X (m, 5. cona)</i>	5.030.000	5.030.000
<i>največja koordinata Y (m, 5. cona)</i>	5.624.000	5.624.000
<i>največja koordinata X (m, 5. cona)</i>	5.194.000	5.272.000
<i>velikost območja v smeri E-W (km)</i>	249	270
<i>velikost območja v smeri N-S (km)</i>	164	242

Preglednica 1: Lastnosti slovenskega in spojenega slovensko-avstrijskega DMR-ja

Slovenski DMR 100 se nahaja v celoti v 5. coni, ki se na geografski širini Slovenije razteza približno 127 km proti vzhodu in zahodu od srednjega meridiana. Iz tabele 1 lahko ugotovimo, da novi, spojeni DMR sega na zahod za 146 km, kar je 19 km več, kot je širina 5. cone. Zaradi tega se linijsko merilo v Gauss-Kruegerjevi projekciji na zahodnem robu poveča z dovoljenega 1,000100 na 1,000163, kar pomeni, da je tu relativna projekcijska natančnost dolžin 1:6 150 namesto dovoljene 1:10 000, linijska deformacija pa 1,6 dm/km namesto 1 dm/km. Že brez nadaljnje analize lahko glede na ocenjeno natančnost tako avstrijskega kot tudi našega dela DMR-ja ugotovimo, da je projekcijska deformacija zanemarljiva, zato je shranitev modela v eni sami, 5. coni dopustna in tudi bolj praktična.

7 ZAKLJUČEK

Tradicionalni državni koordinatni sistemi so po celem svetu še vedno skoraj izključno lokalni, tj. odvisni od orientacije referenčnega elipsoida. V času vsestranske globalizacije meddržavnega gospodarskega povezovanja postajajo takšni sistemi ovira za nemoteno delo tudi zunaj geodezije. Številne mednarodne dejavnosti, kot sta npr. pomorstvo in letalstvo, uvajajo namesto lokalnih globalne koordinatne sisteme, kot npr. WGS 84, GRS 80, ITRS in ETRS. Projekt povezave avstrijskega in slovenskega koordinatnega sistema je eden izmed prvih korakov, potrebnih za nemoteno tovrstno sodelovanje z našimi severnimi sosedi. Čeprav je bil namensko usmerjen v spojitev dveh DMR-jev, so parametri transformacije dovolj natančni za večino izmenjav geokodiranih podatkov.

Zahvala

Avtorja se zahvalujeta kolegom z Oddelka za osnovna dela Geodetskega zavoda Slovenije za podatke in informacije o geodetskih točkah mejnih odsekov.

Literatura:

Radovan, D., Korekture in analiza natančnosti digitalnega modela reliefa Slovenije (DMR 100). Ljubljana, Naročnik Republiška geodetska uprava, Izvajalec Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG, 1991

Radovan, D., Stopar, B., Transformacija med slovenskim in avstrijskim državnim koordinatnim sistemom. Ljubljana, Naročnik Geodetska uprava Republike Slovenije, Izvajalec Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG, 1996

Radovan, D. et al., Spojitev slovenskega in avstrijskega digitalnega modela reliefa. Ljubljana, Naročnik Geodetska uprava Republike Slovenije, Izvajalec Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG, 1997

*Recenzija: Dušan Mišković (v delu)
Marjan Podobnikar*