

DOLOČITEV GEODETSKEGA DATUMA MREŽE NA PLAZU URBAS

GEODETTIC DATUM DETERMINATION FOR THE URBAS LANDSLIDE GEODETTIC NETWORK

Žan Pleterski, Klemen Kregar, Tilen Urbančič

UDK: 528.3/4:551.435.62(497.4)
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.02
Prispelo: 6. 10. 2022
Sprejeto: 28. 10. 2022

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2022.04.536-552
REVIEW ARTICLE
Received: 6. 10. 2022
Accepted: 28. 10. 2022

IZVLEČEK

V prispevku obravnavamo problematiko geodetskega datuma geodetske mreže na plazu Urbas. To je največji zemeljski plaz v zaledju Koroške Bele, ki bi ob sprožitvi lahko ogrozil življenja in poškodoval infrastrukturo na območju naselja Koroška Bela. Spremljanje stabilnosti plazovitega območja vključuje tudi geodetski monitoring. Zato je na območju plazu vzpostavljena terestrična geodetska mreža, ki je namenjena spremljanju pomikov točk ob ustjih inklinometriških vrtin. Celotno območje je bilo mogoče navezati na predvidoma stabilna območja na dveh robnih območjih plazu, kamor so vgrajene štiri referenčne točke. V raziskavi smo obravnavali problem določitve geodetskega datuma opisane geodetske mreže. Celotno analizo, ki je temeljila na meritvah štirih terenskih izmer, smo izvedli z lastnim programskim orodjem.

ABSTRACT

This article describes the geodetic network of the Urbas landslide. It is the largest landslide in the Koroška Bela region, which, if triggered, can endanger human lives and damage infrastructure. In order to monitor the landslide, a geodetic network was established in the area of the Urbas landslide, on the basis of which the movements of control points can be calculated. After various analyses, only two small areas near the Urbas landslide proved to be stable, so we established four reference points there. In this research we defined the geodetic datum of the geodetic network of the Urbas landslide. The geodetic datum was defined on the basis of four measurement epochs processed with our own software.

KLJUČNE BESEDE

geodetska mreža, plaz Urbas, girusna metoda, izravnava geodetske mreže, geodetski datum, stabilnost referenčnih točk

KEY WORDS

geodetic network, Urbas landslide, sets of angles, adjustment of geodetic network, geodetic datum, stability of reference points

1 UVOD

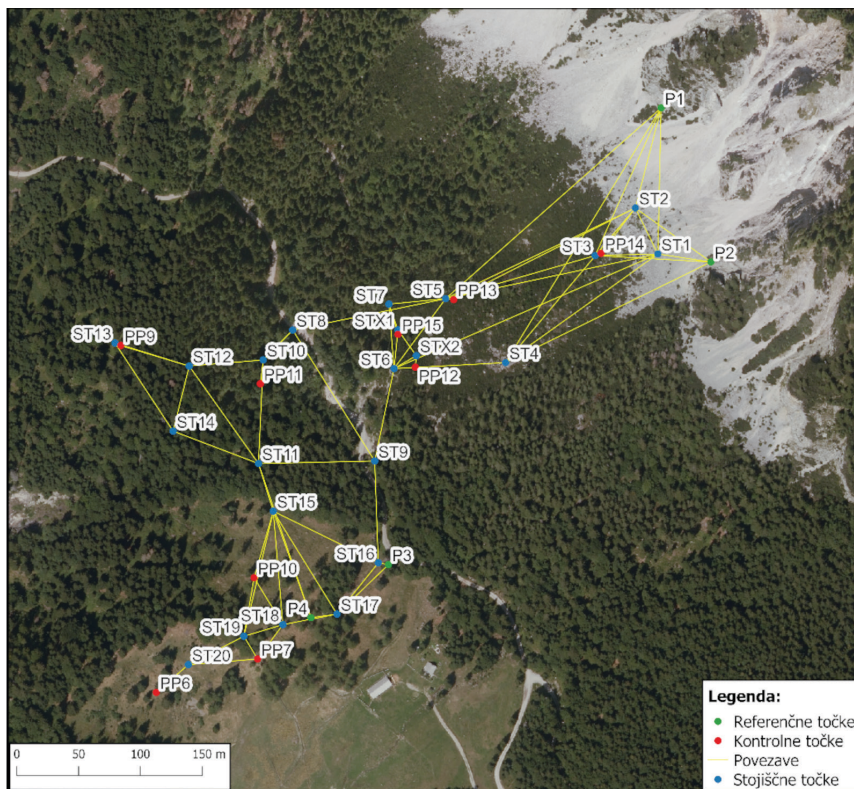
Preučevano območje je del Potoške planine, ki geografsko spada v Zahodne Karavanke, natančneje na pobočje Belščice, ki se razteza med Viševnikom nad Medjim dolom in Potoškim Stolom in je mejno območje med Slovenijo in Avstrijo (Peternel, 2017). Plaz stoji nad naseljem Koroška Bela v občini Jesenice, na nadmorski višini dobrih 1300 metrov (slika 1). Urbas je aktiven zemeljski plaz, na katerem nenehno plazi velika količina mešanice karbonatnega grušča in preperelih klastitov (Mikoš et al., 2008). Obravnavano območje meri približno 550 metrov v dolžino in 250 metrov v širino. Ob tem je treba poudariti, da znaša debelina drseče zemljine tudi do deset metrov (Zorn in Komac, 2008). Že ob opazovanju terena je mogoče zaznati aktivnost plazu, saj so vidni posamezni manjši zdrsi zemljine, valovitost zemljine, predvsem pa posamezne manjše in večje razpoke (slika 1). Pojav je še bolj izrazit na gozdni cesti, ki vodi do samega plazu, saj jo je treba zaradi odnašanja večkrat urediti in popravljati. Težava obravnavanega plazu je predvsem ta, da se izteka v ozko in razmeroma strmo dolino, ki jo je Bela skozi leta vrezala v zemljino in katere struga se v dolini razširi v širšo in glavno dolino, kjer je gosto poseljeno naselje Koroška Bela (Pleterski, 2020). Glede na izračune bi ob morebitni sprožitvi plazu v dolino spolzelo med 700.000 m³ in 1.400.000 m³ materiala (Mikoš et al., 2008).



Slika 1: Makro- in mikrolokacija plazu Urbas.

Geodetska mreža plazu Urbas je bila vzpostavljena za izvajanje periodičnih meritev, na podlagi katerih bo mogoče spremljati premike kontrolnih točk. Osnovni namen izmere kontrolnih točk je določitev pomikov ustij inklinometrov, kar neposredno omogoča tudi oceno in analizo drsenja površine pobočja v dolino Koroške Bele. Na plazovitem terenu je težko zagotoviti stabilnost danih točk, ki zagotavljajo geodetski datum mreže. Ker lahko stabilnost ugotovimo le iz obdelave meritev periodičnih izmer, je bil namen raziskave analizirati meritve več terminskih izmer in določiti optimalni geodetski datum geodetske mreže plazu Urbas. Geodetski datum v osnovi predstavlja najmanjše število parametrov, ki omogočajo umestitev koordinatnega sistema v fizični prostor, kar pa se na plazovitem območju izkaže za izziv. V raziskavi nas je zanimalo, ali so referenčne točke postavljene na stabilno podlago in se tako v času ne premikajo ter zagotavljajo ustrezen geodetski datum. Iz tega smo oblikovali raziskovalno hipotezo, in sicer: *Geodetske točke, stabilizirane na predvidoma stabilnem območju, se v času ne premikajo in so tako ustrezna osnova za določitev geodetskega datuma.* Z namenom enostavne obdelave terenskih meritev in v drugi fazi, med izravnavo, poljuben izbor količin za določitev geodetskega datuma je bila izdelana lastna programska rešitev. Pravilnost delovanja je bila preverjena s primerjavo z obstoječimi programskimi rešitvami (Leica Infinity, VimWin in RamWin). Prispevek temelji na raziskovalnem delu, ki je bilo izvedeno v okviru magistrskega dela (PleTERSki, 2022).

2 GEODETSKA MREŽA URBAS



Slika 2: Prikaz geometrije geodetske mreže Urbas.

Geodetska mreža plazu Urbas je terestrična triangulacijsko-trilateracijska mreža, ki je bila vzpostavljena konec leta 2019 (slika 2). Pri tem so sodelovali tudi geologi, ki so imeli ključno vlogo pri določanju stabilnih območij, na katerih smo stabilizirali referenčne točke. Te naj bi v vseh terminskih izmerah zagotavljale enoten geodetski datum.

Ob zagotovitvi istega geodetskega datuma v okviru vseh terminskih izmer lahko določimo smer in velikost premikov kontrolnih točk. Tako lahko ugotovljamo, ali so premiki znotraj predvidenih toleranc, ali pa opozorimo na nenavadno obnašanje preučevanega območja. Zaradi specifik obravnavanega terena obstaja možnost, da se premikajo tudi referenčne točke. Na izbiro položajev referenčnih točk nismo imeli veliko vpliva, saj je bilo mrežo treba prilagoditi glede na podroben terenski pregled in analizo podatkov inženirskih geologov, ki so določili stabilna območja. V skalnato podlago, ki je opredeljena kot stabilna, smo vgradili kovinske čepe z ekspanzijskim sistemom fiksiranja. Takšen način stabilizacije referenčnih točk ustreza načelom stroke ter zagotavlja ustrezno stabilnost točke in natančnost izmere. Prav tako točke v naravi niso moteče oziroma jih je težje poškodovati, saj je čep na nivoju površja skale. Pred izmero je treba odstraniti zaščitni vijak, ki ščiti navoj nastavka reflektorja, in v glavo sidra priviti ustrezen nastavek za reflektor.

- Vzpostavljeno geodetsko mrežo plazu Urbas sestavljajo štiri referenčne točke, in sicer P1–P4 (slika 2). Točki P1 in P2 sta vgrajeni na skrajnem vrhu geodetske mreže, in sicer v skalnati steni nad plazom. Točki P3 in P4 sta vgrajeni v dve skali v osrednjem delu obravnavane mreže. Referenčne točke se v času ne smejo premikati, zato morajo biti vzpostavljene z ustrezno stabilizacijo (slika 3), ki omogoča prisilno centriranje.

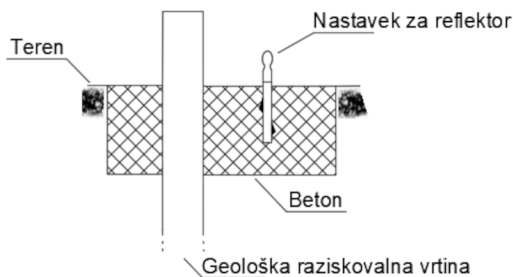


Slika 3: Stabilizacija referenčnih točk (Urbančič et al., 2021).

- Kontrolne točke PP6–PP14 in PP12A (slika 2) so trajno stabilizirane v beton ob ustju geoloških raziskovalnih vrtin (slika 4). Na podlagi periodičnih meritev in dejstva, da so točke enolično trajno stabilizirane, lahko ugotovljamo velikost in smer premikov posamezne točke.
- V horizontalno mrežo je vključenih 26 stojišč: ST1–ST21, STX1, STX2, STX6, STX10 in STX14 (sliki 2 in 5). Ta so v vsaki terminski izmeri začasno stabilizirana s stativi. Ob tovrstni stabilizaciji stojišč stativo postavimo na čim bolj optimalno mesto (da drevesa in druga vegetacija ne ovirajo vizur med stojišči in kontrolnimi ter referenčnimi točkami), dodatno nam zagotovijo ustrezno stabilnost med izmero.



Slika 4: Stabilizacija kontrolnih točk.



Slika 5: Stabilizacija stojšč.

V mreži smo na vseh vidnih povezavah med točkami merili horizontalne kote z girusno metodo izmere v petih girusih. Zenitne razdalje in poševne dolžine pa v petih ponovitvah v obeh krožnih legah. Na podlagi izmerjenih vrednosti v postopku obdelave meritev izračunamo najverjetnejše položaje točk v geodetski mreži. Primerjava in statistična analiza dobljenih rezultatov med terminskimi izmerami nam omogoča ugotavljanje, kaj se dogaja z referenčnimi in kontrolnimi točkami. Frekvenca in število terminskih izmer sta povezana predvsem s pričakovanimi premiki v časovnem obdobju in s pomembnostjo objekta. Plazovi pomenijo potencialno nevarnost za okoliške prebivalce in infrastrukturo, zato je njihovo spremljanje ključno, če želimo ugotoviti, kako hitro in v katero smer zemljina plazi. Težava tovrstnih klasičnih meritev je predvsem v tem, da sistemi niso avtomatizirani in ne omogočajo neprestanega spremljanja položaja (Pleterski, 2020).

2.1 Metoda izmere in instrumentarij

V fazi terenske izmere merimo horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine. Navedene količine nam omogočajo enoličen izračun horizontalnega in višinskega položaja in s tem določitev 3D-položaja

geodetske točke v prostoru. Obravnavanje horizontalnega in višinskega položaja sta v postopku obdelave navadno ločeni, v fazi terenskih meritev pa skupni. Razlog se skriva v tem, da nam sodoben merski instrumentarij omogoča sočasno merjenje kotnih in dolžinskih komponent, ki jih izvajamo po girusni metodi izmere oziroma z izmero v več ponovitvah v obeh krožnih legah. Horizontalni položaj geodetskih točk izračunamo na podlagi triangulacijsko-trilateracijske mreže. Zaradi zahtevnega terena višine točk izračunamo z metodo trigonometričnega višinomerstva. Za zagotovitev visoke stopnje natančnosti se nekateri popravki računajo naknadno v postopku obdelave, zato se hkrati z geodetskimi meritvami izvajajo tudi meritve meteoroloških parametrov.

Pri izmeri smo uporabili precizni tahimeter Leica Nova MS50. Specifikacije, ki jih navaja proizvajalec Leica Geosystem, so: $\sigma_{\text{ISO-17123-3 (hz,v)}} : 1,0''$ in $\sigma_{\text{ISO-17123-4}} : 1,0 \text{ mm}; 1,5 \text{ ppm}$ (Leica Geosystem, 2013). Avtomatizacija, ki jo omogoča instrument, zmanjša vpliv operaterja na meritve, s čimer zagotovimo kakovostnejše meritve in posledično boljše končne rezultate. Naj poudarimo predvsem dve uporabni funkcionalnosti. Motorizacija instrumenta in sistem avtomatskega viziranja tarče (AVT), ki zagotavlja, da instrument po grobem viziranju reflektorja sam fino navizira tarčo. Tako pospešimo meritve, saj ni potrebno ročno viziranje operaterja, prav tako je tovrsten način viziranja natančnejši od operaterjevega »ostrega očesa«.

Poleg elektronskega tahimetra smo uporabili dodatni merski pribor za signalizacijo stojiščnih in kontrolnih točk, horizontiranje stojišč (stativov) in merjenje meteoroloških parametrov. Pri izmeri smo potrebovali še:

- 10 preciznih reflektorjev Leica GPH1P (reflektorjem je bila skupaj z razdaljemerom uporabljenega elektronskega tahimetra določena adicijska konstanta 0),
- 6 reflektorjev Leica GPR121 (reflektorjem je bila skupaj z razdaljemerom uporabljenega elektronskega tahimetra določena ustrezna adicijska konstanta),
- 9 preciznih nosilcev reflektorja Leica GZR3,
- Meteo Station HM30,
- trinožne stativne.

3 OBDELAVA MERITEV

Obdelava merjenih vrednosti vključuje korake obdelave podatkov in kontrole kakovosti ter izravnave z različnim izborom geodetskega datuma. Celotno obdelavo podatkov smo opravili v lastnem programu, ki vključuje vse v nadaljevanju opisane postopke.

a) Kontrola popolnosti girusov in meritev

V fazi terenskih meritev se lahko zgodi, da zaradi različnih razlogov instrument ne izvede meritev proti kateri od merjenih točk. Iz generiranega *.txt izpisa lahko razberemo, ali so meritve popolne, torej ali so bile na posameznem stojišču izvedene vse meritve. Iz analize popolnosti girusov ugotovimo, ali je zaporedje točk v girusih pravilno. Tako je treba naknadno izvedene meritve umestiti v girus na pravilno mesto.

b) Izračun aritmetičnih sredin in ocena natančnosti

Rezultati terenskih meritev, zbrani v *.gsi datoteki, sami po sebi niso še želeni končni rezultat in so brez ustrezne obdelave neuporabni (Pleterski, 2022). Po priporočilih stroke je v fazi meritev treba zagotoviti nadštevilne meritve, ki nam omogočajo iskanje morebitnih napak v fazi izmere, izboljšajo natančnost ter

omogočajo izravnavo. Meritve izvajamo v več girusih oziroma v več ponovitvah v obeh krožnih legah. Tako je prvi korak obdelave izračun sredin merjenih količin s pripadajočimi ocenami natančnosti, ki služijo iskanju grobih pogreškov v meritvah.

c) Izračun približnih koordinat

Za vsako stojišče izračunamo približne koordinate, ki so v lokalnem koordinatnem sistemu. Tako zagotovimo ustrezne relativne odnose med točkami v geodetski mreži. Geometrija celotne mreže je napačna, kar rešujemo v iterativnem postopku. Rešitev je sprogramirana tako, da vrednosti koordinat točk na posameznem stojišču primerjamo z vrednostmi na seznamu »unikatnih« približnih koordinat, in sicer tako, da program poišče tri identične točke in na podlagi 7-parametrične podobnostne transformacije določi transformacijske parametre, ki se izračunajo za vse točke na posameznem stojišču. Približne koordinate točk, ki so izračunane prvič in še niso na seznamu »unikatnih« približnih koordinat, se pripišejo v seznam. V zadnjem koraku je potrebna še transformacija približnih koordinat točk v poljuben 3D-koordinatni sistem. Ta del rešite je ločen na višinsko in horizontalno transformacijo.

d) Redukcija dolžin

Merjene poševne dolžine smo v fazi obdelave reducirali v horizontalne, na izbrani računski nivo geodetske mreže. Računski nivo je bil v našem primeru določen kot nivo pod najnižjo točko v mreži, zaokrožen na celih 10 metrov, in tako znaša 1200 metrov. Za ustrezno rešitev je treba upoštevati instrumentalne, meteorološke, geometrične in projekcijske popravke (Kogoj, 2005).

e) Izravnavo geodetske mreže

Osnovni pogoj za izravnavo geodetske mreže je, da obravnavamo predoločen model, kar pomeni, da imamo večje število meritev, kot je potrebno za enolično določitev končnega rezultata (Stopar, 2021). Grobo pogrešene meritve tako lahko odstranimo že pred izravnavo. Težava so lahko le še nepričakovani sistematični pogreški, ki so težje zaznavni. Ker si želimo, da je naš končni rezultat čim bližji pravi vrednosti, lahko vpliv slučajnih pogreškov zmanjšamo s postopkom izravnave po metodi najmanjših kvadratov. Poleg določitve najverjetnejših vrednosti koordinat točk v mreži nam izravnavo omogoča oceno natančnosti meritev in neznank. V programski rešitvi se višinska in horizontalna izravnavo obravnavata ločeno, in sicer po postopku posredne metode izravnave. Dodatno je izvedena še eliminacija orientacijskih neznank, s čimer se zmanjša razsežnost matrike normalnih enačb, in torej pospeši hitrost obdelave mreže (Brockmann, 1996). Natančnost horizontalnega položaja geodetskih točk je grafično prikazana z elipsami pogreškov, ki jih generira program. Meritve so bile na terenu izvedene z istim instrumentom, zato predpostavljamo, da so vse merjene smeri izmerjene z enako stopnjo natančnosti, kar se kaže v tem, da je utež pri vseh kotnih meritvah enaka 1. Dolžine med točkami pa so različne, zato jim moramo dodeliti različne uteži, ki jih določimo kot:

$$P = \frac{1}{2 \cdot S^2}. \quad (1)$$

4 GEODETSKI DATUM

Geodetski datum je v teoriji opredeljen kot najmanjše število danih količin, ki so potrebne za določitev koordinat geodetske točke v izbranem koordinatnem sistemu (Kuang, 1996). Z njimi opredelimo lego, orientacijo in merilo geodetske mreže. Koncept in problematika geodetskega datuma izhajata iz dejstva, da

so klasične terestrične geodetske meritve (horizontalne smeri, zenitne razdalje in prostorske dolžine) tako imenovana notranja opazovanja oziroma notranje količine, ki jih določamo med točkami geodetske mreže. Težava je v tem, da nam tovrstne količine omogočajo zgolj določitev relativnih položajev obravnavanih točk. Tako ne moremo določiti koordinat točk v izbranem koordinatnem sistemu in s tem tako imenovanih absolutnih koordinat točk. Absolutne koordinate se obravnavajo v povezavi z geodetskim datumom kot tako imenovana zunanja opazovanja oziroma zunanje količine, ki so določene v predhodno izbranem koordinatnem sistemu (elipsoidne koordinate φ , λ , h ; kartezične koordinate v globalnem koordinatnem sistemu X , Y , Z ali astronomske koordinate točk Φ , A , H). S stališča notranje geometrije obravnavane geodetske mreže so to količine, ki nimajo neposrednega vpliva na relativne položaje točk v mreži. Iz tega lahko ugotovimo, da zgolj na podlagi notranjih opazovanj, brez dodatnih informacij o geodetskem datumu, ne moremo pridobiti absolutnih koordinat v želenem koordinatnem sistemu (Marjetič, Stopar, 2007).

Pri določanju geodetskega datuma je treba poudariti pomembno zahtevo, in sicer da geodetski datum ne sme vplivati na notranjo geometrijo. To pomeni, da je notranja geometrija zagotovljena zgolj na podlagi notranjih opazovanj, geodetski datum pa zagotavljajo zunanje količine. Poleg števila meritev, ki mora biti vsaj enako številu neznanek za enolično rešitev problema, je treba zagotoviti tudi minimalno število parametrov za enolično umestitev geodetske mreže v izbrani koordinatni sistem. V nasprotnem primeru pride do singularnega sistema normalnih enačb, ki ne bo omogočal enoličnega izračuna koordinat v matematičnem modelu (Stopar, 2021).

4.1 Določitev geodetskega datuma z notranjimi vezmi

Prva možnost za določitev geodetskega datuma je definiranje z notranjimi vezmi. Geodetski datum je v tem primeru določen na podlagi vezi, ki temeljijo na vrednostih nekaterih ali vseh koordinat točk geodetske mreže, vključenih v izravnavo. V tem primeru govorimo o tako imenovani izravnavi proste geodetske mreže. V praksi to pomeni, da nobena točka ni prevzeta kot dana. Iz tega sledi, da se notranje vezi nanašajo na neko fiktivno vrednost, na primer azimut, zenitno razdaljo, točko ali dolžino v geodetski mreži, ki se v izravnavi ne spremeni. Z matematičnim modelom je treba zagotoviti naslednje kriterije (Stopar, 2021), da se:

- povprečna razdalja med težiščem in posameznimi točkami geodetske mreže ne spremeni,
- geodetska mreža po izravnavi glede na težišče ne zasuka,
- koordinate težišča geodetske mreže (povprečje približnih koordinat točk mreže) ne spremenijo.

Ker v obravnavanem primeru nimamo danih zunanjih opazovanj oziroma koordinat referenčnih točk, geodetski datum mreže ni definiran. V 2-razsežnem koordinatnem sistemu so za določitev geodetskega datuma potrebni štiri datumski parametri (Stopar, 2021):

- dva premika (t_x , t_y),
- en zasuk (ω_z) in
- eno merilo (s) – pri merjenih dolžinah je parameter določen.

4.2 Določitev geodetskega datuma z minimalnim številom zunanjih vezi

Geodetski datum mreže naj bi zagotovila zunanja opazovanja. Zagotavljanje datumskih parametrov s tovrstnimi meritvami je lahko drago ali sploh neizvedljivo, lahko pa so tudi slabo določeni. Ena izmed

možnosti za določitev geodetskega datuma mreže, ko nimamo na voljo dovolj kakovostnih danih točk, je postavitve posameznih zahtev, ki jih morajo izpolniti zunanja opazovanja. Geodetski datum je v tem primeru v celoti določen z zunanjimi opazovanji ali pa je z zunanjimi opazovanji določen eden ali več datumskih parametrov. Preostali datumski parametri so določeni z notranjimi opazovanji. Vezi, ki jih morajo v tem primeru izpolniti zunanja opazovanja, so teoretično lahko podane preko danih količin ali z dodelitvijo velikih vrednosti uteži koordinatam tistih točk, za katere ne želimo, da ostanejo po izravnavi nespremenjene. Geodetski datum mora biti določen tako, da ne vpliva na notranjo geometrijo mreže oziroma na relativne koordinate točk mreže. To tudi pomeni, da ne smemo definirati več datumskih parametrov, kot jih je potrebnih za zagotovitev geodetskega datuma mreže. Takšen način definiranja geodetskega datuma je določanje geodetskega datuma z minimalnim številom vezi med neznankami (Stopar, 2021).

4.3 Izravnava po metodi najmanjših kvadratov

Po predhodni obdelavi meritev so te ustrezno preračunane in popravljene ter tako primerne za določitev koordinat točk v geodetski mreži. Dandanes se izravnava geodetskih meritev večinoma izvaja z uporabo posredne metode izravnave ali z izravnavo s splošnim modelom. Po meritvah je treba vzpostaviti zvezo med opazovanimi in neznanimi količinami v mrežo. Zveze med merjenimi in iskanimi količinami v mreži lahko vodijo v poddoločen, določen ali predoločen problem. Nadštevilne meritve so torej tiste, ki presegajo minimalno število potrebnih meritev za enolično določitev neznank v mreži. Pri nadštevilnih meritvah imamo torej opravka s predoločenim problemom, ki ga je treba rešiti z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Dodatna zahteva, ki jo morajo izpolniti neznanke, pa je vezana na način določitve geodetskega datuma mreže. Kot smo že omenili, je dodaten pogoj, ki ga morajo izpolniti neznanke, zapisan v obliki veznih enačb (Stopar, 2021):

- a) Za geodetski datum, definiran z minimalnim številom zunanjih opazovanj:

$$\mathbf{D}^T \Delta = 0 \quad (2)$$

$$\Delta = (\mathbf{N} + \mathbf{D}\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}\mathbf{f} \quad (3)$$

$$\mathbf{v} = [\mathbf{I} - \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{D}\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}]\mathbf{f} \quad (4)$$

$$\hat{\mathbf{I}} = \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{D}\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}\mathbf{f} \quad (5)$$

$$\mathbf{N} = \mathbf{B}^T \mathbf{P}\mathbf{B} \quad (6)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = (\mathbf{N} + \mathbf{D}\mathbf{D}^T)^{-1} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T + \mathbf{D}\mathbf{D}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \quad (7)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = \mathbf{P}^{-1} - \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{D}\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \quad (8)$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{I}}\hat{\mathbf{I}}} = \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{D}\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \quad (9)$$

- b) Za geodetski datum, definiran z notranjimi opazovanji:

$$\mathbf{H}^T \Delta = 0 \quad (10)$$

$$\Delta = (\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}\mathbf{f} \quad (11)$$

$$\mathbf{v} = [\mathbf{I} - \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1}\mathbf{B}^T \mathbf{P}] \mathbf{f} \quad (12)$$

$$\hat{\mathbf{I}} = \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1}\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{f} \quad (13)$$

$$\mathbf{N} = \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} \quad (14)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = (\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T + \mathbf{H}\mathbf{H}^T\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^T \quad (15)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = \mathbf{P}^{-1} - \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1}\mathbf{B}^T \quad (16)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{f}\mathbf{f}} = \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1}\mathbf{B}^T \quad (17)$$

Ustrezne kovariančne matrice po so za oba primera:

$$\Sigma_{\Delta\Delta} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} \quad (18)$$

$$\Sigma_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}} \quad (19)$$

$$\Sigma_{\mathbf{f}\mathbf{f}} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{\mathbf{f}\mathbf{f}} \quad (20)$$

kjer so:

D... datumska matrika za geodetski datum, določen z minimalnim številom zunanjih opazovanj,

H... datumska matrika za geodetski datum, določen z notranjimi opazovanji,

Δ ... vektor neznank,

v ... vektor popravkov opazovanj,

l ... vektor opazovanj,

$\hat{\mathbf{I}}$... vektor izravnanih opazovanj,

N ... matrika koeficientov normalnih enačb,

B ... matrika koeficientov neznank,

P ... matrika uteži vektorja opazovanj,

f ... vektor odstopanj,

$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$... matrika kofaktorjev neznank,

$\mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}$... matrika kofaktorjev popravkov opazovanj,

$\mathbf{Q}_{\mathbf{f}\mathbf{f}}$... matrika kofaktorjev izravnanih opazovanj,

$\Sigma_{\Delta\Delta}$... kovariančna matrika neznank,

$\Sigma_{\mathbf{v}\mathbf{v}}$... kovariančna matrika popravkov opazovanj,

$\Sigma_{\mathbf{f}\mathbf{f}}$... kovariančna matrika izravnanih opazovanj.

Tako določene kovariančne matrice so temelj za vrednotenje meritev na podlagi izravnave merjenih količin.

5 REZULTATI IN NJIHOVA ANALIZA

Za optimalno določitev geodetskega datuma geodetske mreže plazu Urbas so bile izvedene različne metode izravnave. Tako smo želeli raziskati in pokazati, katere oziroma kakšne težave se lahko pojavijo

pri posamezni metodi, kaj moramo upoštevati in kako postopati v posameznem primeru. Geodetska mreža je vzpostavljena z namenom izvedbe periodičnih terenskih meritev, kar nam omogoča ugotavljanje sprememb smeri in velikosti premikov kontrolnih točk. Ker je na plazovitem območju, kljub analizam različnih strokovnjakov, težko zanesljivo opredeliti stabilna območja, je treba biti previden pri izbiri referenčnih točk in metodi izravnave.

a) Enolično določen geodetski datum

V horizontalnem smislu je geodetska mreža obravnavana v 2D-koordinatnem sistemu. V tem primeru potrebujemo za enolično določitev koordinat točk geodetske mreže širi datumske parametre: dva premika, en zasuk in eno merilo. Ker so v mreži merjene prostorske dolžine, imamo tako zagotovljen datumski parameter merila, nedoločene tri parametre zagotovimo z izbiro ene dane točke in ene smeri. Ena izmed načel izbire referenčnih točk v mreži je, da so te čim bolj optimalno razporejene v mreži in tako ob ustrezni geometriji mreže zagotavljajo ustrezno pričakovano natančnost določitve točk v geodetski mreži. Ob neustrezni izbiri položajev referenčnih točk v mreži se ta lahko rotira oziroma se zaradi kratke orientacije elipse pogreškov z oddaljevanjem od dane točke povečujejo. Za analizo primernosti in stabilnosti referenčnih točk smo tako izbrali tri kombinacije enolično določenega geodetskega datuma, in sicer:

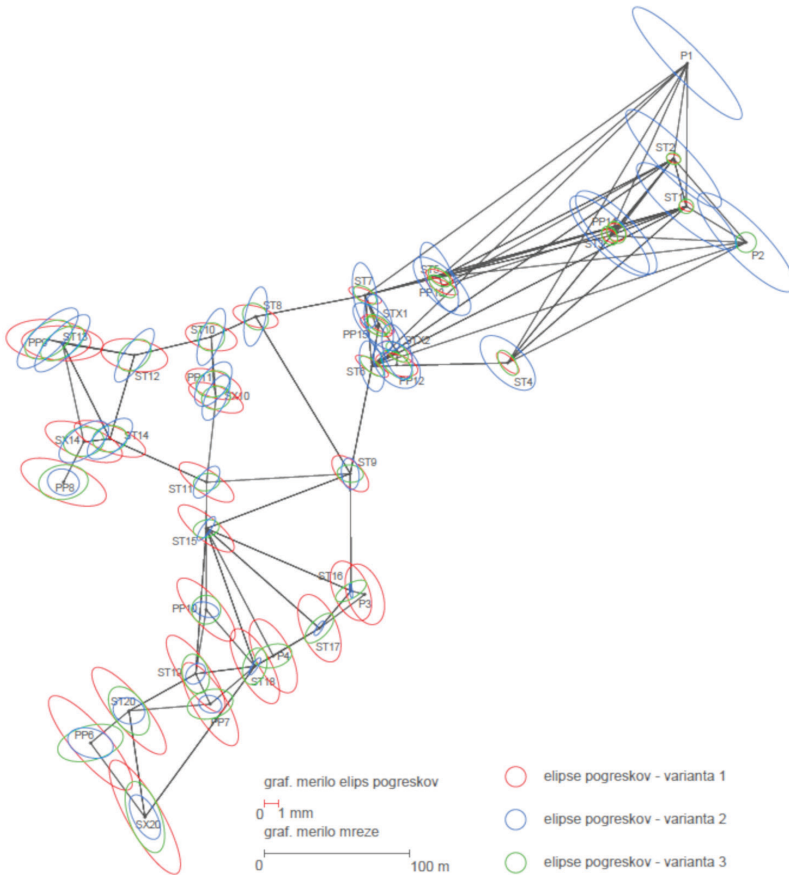
- dana je točka P1 in smer na točko P2 (varianata 1),
- dana je točka P3 in smer na točko P4 (varianata 2),
- dana je točka P1 in smer na točko P3 (varianata 3).

Iz skice elips pogreškov (slika 6) vidimo, da pri variantah 1, 2 in 3 referenčni točki, na katero je vpeta mreža, nimata popravkov, saj se obravnavata, kot da se v času nista premaknili. Ker sta v varianti 1 referenčni točki na skrajnem severu mreže, kjer se tudi začne izmera geodetske mreže, se pojavi očitna težava, da se s pomikanjem proti jugu slabša natančnost. Težavo povzroča orientacijska točka P2, ki je zelo blizu dane točke P1 in tako ne zagotavlja zanesljive orientacije. Sklepamo lahko na seštevanje posameznih pogreškov, kar se odraža v slabšanju natančnosti. Tovrstna rešitev tako ni optimalna, saj se poleg slabšanja same natančnosti lahko pojavi tudi težava z rotiranjem geodetske mreže. Pri varianti 2 sta referenčni točki na sredini geodetske mreže, zato se natančnost slabša s pomikanjem proti jugu in proti severu geodetske mreže. Težava je enaka kot v prvem primeru. Tovrstna rešitev prav tako ni optimalna, saj se poleg slabšanja same natančnosti lahko zaradi bližine orientacijske točke T4 pojavi tudi težava z rotiranjem geodetske mreže. Pri varianti 3, kjer je ena referenčna točka na skrajnem severu mreže, druga pa precej južneje, lahko vidimo, da je tovrstna rešitev veliko boljše od predhodnih. Izbira položaja referenčnih točk glede na geometrijo geodetske mreže za določitev geodetskega datuma se tako res izkaže kot pomembna.

S slike 6 jasno vidimo, da se natančnost proti jugu geodetske mreže slabša, kar je pričakovano, saj je tam oddaljenost od referenčnih točk največja. Na skrajnem jugu geodetske mreže (levi in desni krak) je tako natančnost najslabša. Velika polos največje elipse pogreškov tretje variante je 2,5 milimetra, kar je dvakrat manjše kot pri prvi oziroma drugi varianti. Tovrstna rešitev je v primerjavi s prejšnjima optimalnejša, saj so točke določene z večjo natančnostjo (elipse pogreškov so na vseh obravnavanih točkah v geodetski mreži najmanjše), na kar vpliva izbira dane točke in smeri.

Pri enolično določenem geodetskem datumu kot dane količine vzamemo koordinate ene izmed točk v mreži in smer proti drugi točki. Ugotovili smo, da je izbira položaja referenčnih točk glede na geometrijo

geodetske mreže pomembna, saj močno vpliva na natančnost določitve posameznih točk v mreži. Težava je tudi, da se za dano točko predvideva, da je stabilna, kar pa na plazovitem območju težko trdimo.

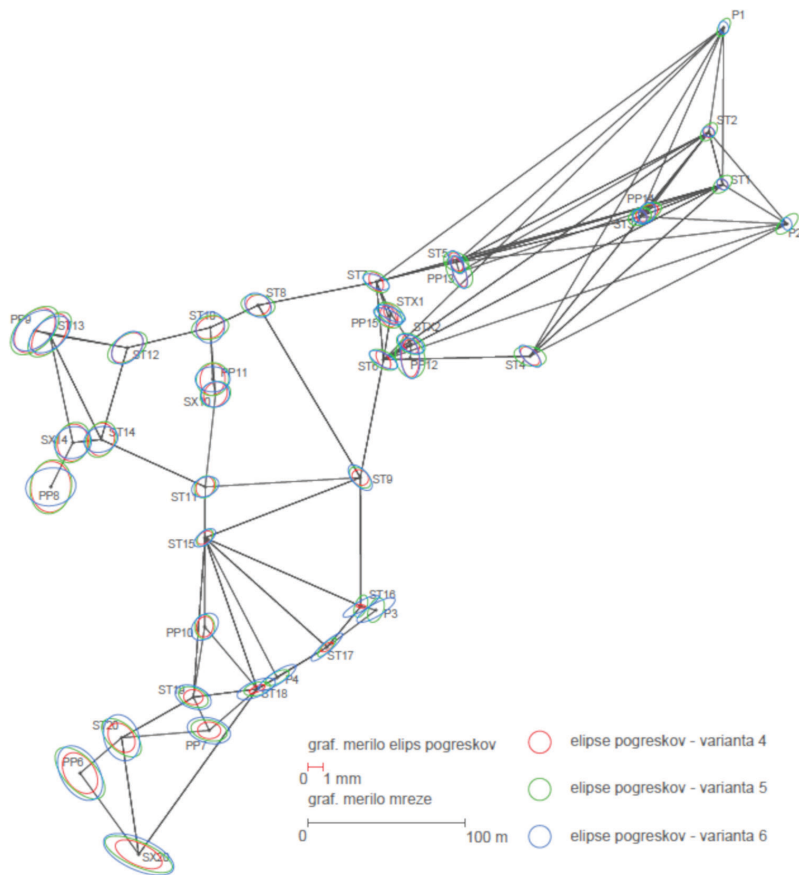


Slika 6: Elipse pogreškov variant izravnnav za enolično določen geodetski datum – 2. izmera.

b) Predoločen geodetski datum

Pri predoločenem geodetskem datumu, kjer zagotovimo več kot tri datumske parametre, smo mrežo vpeli na vse štiri referenčne točke. S tem smo zagotovili 8 datumskih parametrov, potrebujemo pa jih le 3. Če je geodetski datum predoločen, se pojavi težava pri izračunu koordinat točk geodetske mreže, saj je ta obremenjena z vplivom datumskih parametrov referenčnih točk. To lahko privede do težav pri oceni notranje natančnosti geodetske mreže. Z namenom analize primernosti in stabilnosti referenčnih točk smo tako izbrali tri kombinacije predoločenega geodetskega datuma, in sicer:

- klasično vpeta geodetska mreža na štiri referenčne točke (varianta 4),
- navezava na štiri referenčne točke – S-transformacija (varianta 5),
- navezava na dve referenčni točki in dve smeri – geodetski datum, določen z minimalnim številom zunanjih vezi (varianta 6).



Slika 7: Elipse pogreškov variant izravnav za predoločen geodetski datum – 2. izmera.

Skice elips pogreškov naštetih metod so prikazane na sliki 7. Klasično vpeta horizontalna mreža (varianta 4) pomeni, da smo obravnavano geodetsko mrežo vpeli na vse referenčne točke, ki so v geodetski mreži plazu Urbas točke P1–P4. Te zato nimajo elips pogreškov, vse preostale točke pa so opredeljene kot nove. Glavno vprašanje, ki si ga zastavimo, je, ali je tovrstna metoda izravnave ustrežna za določitev geodetskega datuma plazovitega območja. Če primerjamo natančnosti, pridobljene s to metodo, lahko ugotovimo, da je (do sedaj) najboljša, in sicer na ravni milimetra oziroma pri najslabše določenih točkah dveh milimetrov. Težava je dejstvo, da se za referenčne točke v tem primeru predpostavlja, da v času mirujejo, da torej ne dobijo popravkov. Vseeno pa na podlagi tovrstne izravnave težko trdimo, ali so referenčne točke pri miru ali se premikajo. Če bi se premikale, bi bilo to v fazi izravnave razvidno iz popravkov meritev med danimi točkami ter dodatno iz velikosti elips pogreškov, saj bi se morala notranja geometrija mreže precej deformirati, da bi lahko mreži vpeli na »stabilne« točke. Kakor v varianti 4 smo tudi v varianti 5 obravnavano geodetsko mrežo vpeli na vse štiri referenčne točke (P1–P4). Ker se metodi izravnave razlikujeta, se to odraža pri rezultatih. Kadar je število referenčnih točk večje od defekta datuma, lahko opazimo, da so rezultati tovrstne metode izravnave drugačni od tistih, ki so rezultat klasične vpete izravnave po MNK, kar je numerično opazno v vektorju neznank in pripadajoči variančno-kovariančni matriki. Razlika je opazna že ob pogledu na izris

elips pogreškov. Enostavno je mogoče ugotoviti, da pri varianti 5 vektor neznank vsebuje popravke za vse obravnavane točke v mreži, tudi za referenčne. Kot smo že ugotovili pri klasični izravnavi vpete mreže po MNK, popravke približnih vrednosti koordinat dobimo le za tiste točke, ki so v izravnavi obravnavane kot nove. Zavedati se je treba, da rešitev izravnave v obliki predoločenega geodetskega datuma ni najbolj optimalna za korektno obravnavo geodetskih mrež. Zato v »klasični« deformatsijski analizi ni uporabljena. Obravnavan, specifičen primer nam dopušča možnost tovrstne metode, saj težko trdimo, da so referenčne točke res stabilne. V varianti 6 zopet obravnavamo predoločen geodetski datum, kjer smo obravnavano geodetsko mrežo vpeli na dve referenčni točki (P1 in P2), za kateri predvidevamo, da sta vseeno stabilnejši kot referenčni točki P3 in P4. Za dodatne vezi smo kot dani prevzeli še smeri (P1–P3) in (P2–P4). Ker v tem primeru mreže ne vpenjamo na vse štiri referenčne točke in se tako izognemo posameznim napetostim v mreži, so tako pridobljeni rezultati boljši kot tisti v prejšnjem primeru (preglednica 1).

5.1 Analiza rezultatov

Cilj raziskave je bil določiti najbolj optimalen geodetski datum geodetske mreže plazu Urbas. S tem namenom je bila izravnava geodetske mreže izvedena s šestimi različnimi metodami. Glede na specifičnost obravnavanega območja smo predvideli, da je najbolj optimalna izbira geodetskega datuma z zunanjimi vezmi. Razlog za to je predvsem vprašljiva stabilnost referenčnih točk v vseh terminskih izmerah. Referenčne točke še vedno zagotavljajo položaj in orientacijo obravnavane geodetske mreže, niso pa dane v smislu klasične vpete mreže po MNK. Za potrebe umestitve geodetske mreže v koordinatni sistem D48/GK sta bili med 1. izmero začasno stabilizirani dve dodatni točki, katerih položaj je bil določen z metodo izmere GNSS.

V preglednici 1 prikazujemo posamezne statistike za vse štiri terminske izmere, na podlagi katerih smo lahko dodatno ocenili kakovost variant. Prišli smo do enakih sklepov, kot so bili predstavljeni pri izrisu elips pogreškov. Najbolj problematični sta varianti 1 in 2, ko je obravnavana le ena referenčna točka in smer proti drugi referenčni točki. Ker sta le-ti na severu oziroma na sredini geodetske mreže, se pojavi težava, da se s pomikanjem proti jugu oziroma proti severu in jugu slabša natančnost. Težava je v obeh primerih posledica kratke orientacije, s čimer se elipse pogreškov z oddaljevanjem od dane točke povečujejo. Tovrstna rešitev tako ni optimalna, saj se poleg slabšanja same natančnosti lahko pojavi tudi težava z rotiranjem geodetske mreže. To je tudi razlog, da so odstopanja od rezultatov referenčne metode največja. Temu sledijo variante 3, 4, 5 in 6, katerih rezultati so si razmeroma podobni. Težava variant 3, 4 in 5 je, da se referenčna točka oziroma referenčne točke privzamejo kot dane in s tem ne dobijo popravkov, česar na nestabilnem območju ne moremo trditi.

Preglednica 1: Statistike terminskih izmer za posamezne variante izravnave

Izmera 1						
Varianta izravnave	1	2	3	4	5	6
Povp. nat. določitve položaja točk [mm]	/	/	/	1,5	/	/
Faktor izotropnosti	/	/	/	6,4	/	/
Izmera 2						
Varianta izravnave	1	2	3	4	5	6
Povp. nat. določitve položaja točk [mm]	2,3	2,3	1,4	1,0	1,3	1,3
Faktor izotropnosti	9,0	10,6	5,2	4,0	3,8	6,0

Izmera 3						
Varianta izravnave	1	2	3	4	5	6
Povp. nat. določitve položaja točk [mm]	2,9	3,0	1,8	1,3	1,6	1,6
Faktor izotropnosti	10,5	10,0	5,3	5,4	4,9	6,8
Izmera 4						
Varianta izravnave	1	2	3	4	5	6
Povp. nat. določitve položaja točk [mm]	2,0	2,1	1,2	1,1	1,2	0,9
Faktor izotropnosti	11,8	17,0	5,2	5,5	5,0	4,3

V prvi terenski izmeri je bila geodetska mreža izravnana le na podlagi variante 4, kjer smo mreži vpeli na vse štiri referenčne točke, katerih koordinate so bile predhodno določene v postopku izravnave proste mreže. Tako smo določili koordinate vsem točkam v mreži. Tako pridobljene koordinate točk so bile podlaga za analizo variant izravnave meritev ostalih terminskih izmer. V naslednjih izmerah pa smo za potrebe analize izvedli vse variante. Vidimo lahko, da sta varianti 4 in 6 najboljši, saj so elipse pogreškov najmanjše, kar se neposredno odraža v natančnosti določitve točk v mreži. Razlika med variantama je na ravni desetink milimetra. Pomembna pomanjkljivost variante 4 je, da mrežo vpnemo na štiri točke, ki so predvidoma stabilne, česar na nestabilnem območju ne moremo trditi. Najbolj vprašljiva je stabilnost referenčnih točk P3 in P4, katerih gibanje smo zaznali tudi v analizi. Glede na natančnost izmere in velikost spremembe položaja točk ne moremo trditi, da je premik statistično značilen. Zaradi majhne spremembe položaja referenčnih točk smo z varianto 4 še dobili kakovostne rezultate. Ob morebitnih večjih in statistično značilnih premikih referenčnih točk bi to vplivalo na geometrijo mreže, kar bi se odražalo v natančnosti same izmere, saj bi se pojavile napetosti v mreži in s tem slaba natančnost določitve točk v mreži. Glede na teoretično ozadje in vse opravljene analize smo se odločili, da je v obravnavanem primeru varianta 6 najbolj optimalna. V posameznih primerih se kot ustrezna rešitev izkaže varianta 5, ki je v teoriji obravnave geodetskih mrež poznana kot S-transformacija. Dodatno je težava predpostavka, da mrežo zopet vpnemo na štiri točke, ki so predvidoma stabilne, česar na nestabilnem območju ne moremo trditi.

Dodatno obravnavamo še izotropnost, ki se nanaša na natančnost geodetskih mrež. O homogeni natančnosti govorimo, ko je oblika elips pogreškov enaka za vse nove točke mreže. Če je natančnost točk enaka v vseh smereh, torej so standardne elipse pogreškov krogi, pravimo, da je takšna mreža izotropne natančnosti. To je globalna mera homogenosti oziroma izotropnosti natančnosti, ki predstavlja razmerje med največjo in najmanjšo polosjo standardnega hiperelipsoida zaupanja oziroma razmerje med največjo in najmanjšo lastno vrednostjo kovariančne matrike. Geodetska mreža je tem bolj homogena in izotropna, kolikor manjši je faktor izotropnosti mreže, pri čemer je najmanjša vrednost 1 (Berk, 1996). Glede na faktor izotropnosti lahko ugotovimo, da geodetska mreža ni izotropna, kar se potrди iz oblike elips pogreškov, kjer lahko ugotovimo, da so kotne meritve določene s slabšo natančnostjo kot dolžinske.

6 ZAKLJUČEK

Raziskava je temeljila na štirih terminskih izmerah geodetske mreže plazu Urbas. Vzpostavljena je bila decembra 2019 za potrebe periodičnih terminskih izmer kontrolnih točk ob ustjih inklinometričnih vrtin. Na podlagi koordinatnih razlik po izravnavi lahko opredelimo velikost in smer premikov kontrolnih točk, s čimer posledično ugotovljamo dogajanje na nivoju terena. V obravnavanem primeru spremlja-

mo drsenje površja pobočja v dolino Koroške Bele. Plazovit in s tem nestabilen teren pomeni težavo pri zagotovitvi stabilnosti referenčnih točk v geodetski mreži, ki določajo geodetski datum mreže. Ta omogoča enolično umestitev geodetske mreže v prostor in tako možnost izračuna premikov kontrolnih točk, zato mora biti ustrezno določen. Geologi so v svojih raziskavah na območju plazu opredelili dve (stabilni) robni območji, kamor smo vgradili štiri referenčne točke, ki lahko določajo geodetski datum. Ustreznost položajev in stabilnost izbranih referenčnih točk potrdimo na podlagi meritev s podrobno analizo dogajanja. Zaradi nepoznavanja dejanske stabilnosti in želje po potrditvi izbora lokacij referenčnih točk smo izvedli podrobno analizo vpliva izbora datumskih parametrov geodetske mreže.

Kot referenčna oziroma najbolj optimalna rešitev se je izkazala šesta varianta, kjer gre za navezavo na dve referenčni točki in dve smeri. Referenčni točki sta P1 in P2, dani smeri pa P1–P3 in P2–P4. Glede na položaj stabiliziranih točk P3 in P4 kljub analizam geologov težko trdimo, da res mirujeta. Točki P1 in P2 pa sta stabilizirani v skalnati steni, za katero smo bolj prepričani, da sta stabilni. Zaradi velikosti same mreže te ne moremo navezati samo na dve točki, kar smo dokazali v varianti 1 oziroma 3, saj se pojavijo težave s slabšanjem natančnosti z oddaljevanjem od danih točk. Glede na izbrano metodo izravnave so popravke dobile tudi referenčne točke, kar pomeni, da se njihov položaj načeloma spreminja. Dejstvo je, da so bile vse terenske izmere opravljene korektno in z visoko natančnostjo. Ta je v položajnem smislu v vseh terminskih izmerah reda velikosti 1–2 mm (odvisno od obravnavane točke). Ker so koordinatne razlike med posameznimi terminskimi izmerami znotraj nekaj desetink milimetra, kar je manj od ocenjene položajne natančnosti, zato ne moremo trditi, da so se točke kamorkoli premaknile. Dejstvo je, da so premiki točk P3 in P4 za faktor 2–3 večji kot premiki točk P1 in P2, kar nekako nakazuje na nestabilnost točk P3 in P4, a zaradi majhnih premikov tega ne moremo zanesljivo potrditi.

V raziskavi smo uspešno analizirali različne variante za določitev geodetskega datuma in poiskali optimalno možnost za obravnavani primer. Glede na pridobljene rezultate trdimo, da je zanj najbolj primerna izravnava geodetske mreže z zunanjimi vezmi, kjer se mreža vpne na referenčni točki P1 in P2 ter na smeri P1–P3 in P2–P4. Vseeno pa priporočamo, da se vzporedno izvede tudi klasična izravnava vpete geodetske mreže, kjer bi morebitne očitnejše premike referenčnih točk enostavno opazili, saj bi nastale napetosti v mreži in bi bili rezultati zaradi tega slabši. Glede na spremembe koordinat točk P3 in P4 ne moremo trditi, kaj točno se z njimi dogaja, domnevamo pa, da sta nestabilni, kar bomo potrdili z nadaljnjimi meritvami in analizami. Z raziskavo smo potrdili, kako pomembno in zahtevno je ugotavljanje stabilnosti referenčnih točk v geodetskih mrežah.

Literatura in viri:

- Berk, S. (1996). Izravnava in statistična analiza temeljnih horizontalnih geodetskih mreže. Diplomski naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Brockmann, E. (1996). Combination of Solutions for Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System (GPS). Doktorska disertacija. Bern: Universität Bern, Philosophisch-Naturwissenschaftliche Fakultät.
- Kogoj, D. (2005). Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Kuang, S. (1996). Geodetic network analysis and optimal design: Concepts and applications. Chelsea: Ann Arbor Press.
- Leica Geosystems (2013). Leica Nova MS50 Datasheet. https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/datasheets/leica_nova_ms50_ds.ashx?a=en-sg&hash=F8D0CF2F1A8AA63D184D217B39231F3, pridobljeno: 30. 11. 2022.
- Marjetič, A., Stopar, B. (2007). Geodetski datum in S-transformacija. Geodetski vestnik, 51 (3), 549–564.
- Mikoš, M., Bavec, M., Budkovič, T., Durjava, D., Hribernik, K., Jež, J., Klabus, A., Komac, M., Krivic, M., Kumelj, Š., Maček, M., Mahne, M., Novak M., Otrín, J.,

- Petje, U., Petkovšek, A., Ribičič, M., Sodnik, J., Šinigoj, J., Trajanova, M. (2008). Ocena ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov. Ciljni raziskovalni projekt: Znanje za varnost in mir 2006–2010. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo ter Geološki zavod Slovenije.
- Peternef, T. (2017). Dinamika pobočnih masnih premikov na območju Potoške planine z uporabo rezultatov daljinskih in terestričnih geodetskih opazovanj ter in-situ meritev. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Pleterski, Ž. (2020). Izmera geodetske mreže za izračun premikov točk plazu Čikla. Diplomatska naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Pleterski, Ž. (2022). Določitev geodetskega datuma geodetske mreže plaza Urbas. Magistrska naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Stopar, B. (2021). Študijsko gradivo pri predmetu Izravnalni račun III (neobjavljeno gradivo).
- Urbančič, T., Kregar, K., Marjetič A., Štebe, G., Koler, B. (2021). 4. izmera Plazovi zaledja Koroške Bele: Izmera geodetskih mrež. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za inženirsko geodezijo.
- Zorn, M., Komac, B. (2008). Zemeljski plazovi v Sloveniji. Ljubljana: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU in Ljubljana Založba ZRC.



Pleterski Ž., Kregar K., Urbančič T. (2022). Določitev geodetskega datuma mreže na plazju Urbas. Geodetski vestnik, 66 (4), 536–552.
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2022.04.536-552>

asist. Žan Pleterski, mag. inž. geod. geoinf.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana
e-naslov: zan.pleterski@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Klemen Kregar, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana
e-naslov: klemen.kregar@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Tilen Urbančič, univ. dipl. inž. geod.

Geotočka d.o.o., Tehnološki park 24, 000 Ljubljana
in
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana
e-naslov: tilen.urbancic@fgg.uni-lj.si