

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvirna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University
of Ljubljana
Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Koler, B., Savšek, S., Ambrožič, T., Sterle, O., Stopar, B., Kogoj, D. 2010. Realizacija geodezije v geotehniki = Realisation of geodesy in geotechnics. Geodetski vestnik, 54, 3: 450-468.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2010.03.450-468>
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/> 3469/

Datum arhiviranja / Archiving Date: 16-10-2014

REALIZACIJA GEODEZIJE V GEOTEHNIKI

REALISATION OF GEODESY IN GEOTECHNICS

*Božo Koler, Simona Savšek, Tomaž Ambrožič, Oskar Sterle,
Bojan Stopar, Dušan Kogoj*

UDK: 528.48:624.12/.4

V prispevku so obravnavane aktivnosti geodezije za potrebe določitve premikov zemeljske skorje, lokalnih premikov zemeljske površine ter premikov in deformacij grajenih objektov. Določitev premikov v terestrični horizontalni mreži, terestrični višinski mreži in mreži GNSS obravnavamo na dveh stopnjah natančnosti. Dejavnosti geodezije v geotehnikii so razložene v besedilu prispevka in nazorno prikazane v preglednici. Pričujoči prispevek je skupaj s prispevkom Geodezija v geotehnikii, objavljenim v Geodetskem vestniku 54(1), zaokrožena celota.

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.02

This paper deals with surveying activities in order to define the displacement of the Earth's crust, local displacements of the Earth's surface, and the displacement and deformation of constructed buildings. The determinations of horizontal movements in the terrestrial network, in the terrestrial altitude network and in the GNSS network are dealt with at two levels of accuracy. Geotechnical surveying activities are explained in the paper and demonstrated in the table. The paper Geodesy in geotechnics, published in Geodetski vestnik 54(1), and this paper present an integral whole.

KLJUČNE BESEDE

geodetske meritve, geotehnična opazovanja, izvedba meritev, izravnava, premik, deformacijska analiza

KEY WORDS

geodetic measurements, geotechnical monitoring, performance measurement, adjustment, displacement, deformation analysis

1 UVOD

Pričujoči prispevek je nadaljevanje prispevka, ki je bil objavljen v Geodetskem vestniku 54(1) (Savšek at al., 2010), je njegov povzetek in komentar, dodane so tudi preglednice. Za potrebe določanja premikov zemeljske skorje, lokalnih premikov zemeljske površine ter premikov in deformacij grajenih objektov lahko uporabljamo terestrične metode ali metode globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (metode GNSS) določitve položaja točk. Obravnavane metode uvrščamo med tako imenovane kontaktne metode in jih glede na natančnost delimo na dve stopnji. Obravnavamo velikosti premikov med dvema terminskima izmerama. I. stopnjo natančnosti pomenijo premiki velikosti od 2 cm do 10 cm, premike velikosti od 5 mm do 2 cm uvrščamo v II. stopnjo natančnosti. Stopnja natančnosti izmere je odvisna od velikosti pričakovanega premika. Od velikosti pričakovanega premika oziroma stopnje natančnosti je odvisen izbor instrumentarija, merske metode in postopkov obdelave meritev za določitev položaja točk.

V prispevku so predstavljene razmere, ki jih je treba zagotoviti pred izmero, izvedba meritev in obdelava opazovanj. Predstavljena je tudi izravnava z oceno natančnosti opazovanj in neznank, ki je podlaga za ugotavljanje stabilnosti referenčnih točk in testiranje premikov točk na objektu. Obravnavane so terestrična horizontalna izmera, terestrična višinska izmera in izmera GNSS. Na kratko je predstavljena še problematika povezovanja rezultatov, ki jih dobimo s klasično terestrično izmero in izmero GNSS.

2 VZPOSTAVITEV GEODETSKE MREŽE IN ZAGOTOVITEV RAZMER ZA IZMERO

Obravnavan objekt ali območje sta predstavljena z nizom točk na objektu ali območju in v njegovi okolici. Točke z meritvami povežemo v geodetsko mrežo. Referenčne točke določajo geodetski datum geodetske mreže, medtem ko točke na objektu predstavljajo model objekta. Izbira položajev točk je večinoma odvisna od topografije terena in/ali oblike objekta. Točke so trajno označene in stabilizirane na način, ki zagotavlja kakovostno izvedbo meritev in enolične ponovitve terminskih izmer (Savšek et al., 2010).

Geodetska mreža za deformacijsko analizo mora biti projektirana tako, da omogoča določitev premikov z vnaprej zahtevano natančnostjo in zanesljivostjo. Natančnost določitve premikov objektov in tal navadno predpiše naročnik. Od tega je neposredno odvisna metoda izmere, geometrija mreže in natančnost meritev. V nadaljevanju so predstavljene posamezne posebnosti, ki veljajo za različne metode geodetske izmere in se predvsem nanašajo na II. stopnjo natančnosti.

2.1 Predstavitev oblike mreže (vrsta mreže, zagotovitev kakovosti mreže)

2.1.1 Terestrična horizontalna izmera

Za določitev premikov točk z vnaprej zahtevano natančnostjo je treba izvesti predhodno oceno natančnosti iskanih količin na podlagi simulacije opazovanj, izravnave in analize rezultatov izravnave (za II. stopnjo natančnosti). Če ne moremo zagotoviti zahtevane natančnosti določitve koordinat točk ali potrebne natančnosti določitve premikov točk, je treba poiskati ustrežnejšo geometrijo mreže ali pa zagotoviti večjo natančnost merjenih količin. Ustrežnejšo geometrijo geodetske mreže lahko dosežemo tudi z vzpostavitvijo ustreznega števila povezav, ki bodo zagotovile dovolj veliko število nadštevilnih meritev. Največje oddaljenosti med točkami v horizontalni geodetski mreži naj ne presegajo 1 km. Uporabi poligonske mreže se praviloma izogibamo, ta oblika mreže je dovoljena le za I. stopnjo natančnosti.

2.1.2 Terestrična višinska izmera

V višinskih mrežah govorimo o določanju višin tako imenovanih geodetskih višinskih točk oziroma reperjev. Za I. stopnjo natančnosti lahko višine določimo tudi z metodo tehničnega nivelmana (DIN 4107) ali pa uporabimo metodo trigonometričnega višinomerstva, za II. stopnjo natančnosti uporabimo za določitev višin reperjev metodo natančnega geometričnega nivelmana (DIN 4107). Pri razvijanju mreže upoštevamo splošno veljavna pravila. Klasična višinska mreža naj bo vklopljena mreža. Datum mreže bo določen z navezavo na referenčne reperje mreže.

2.1.3 Izmera GNSS

Pri uporabi mreže GNSS za potrebe spremljanja premikov in deformacij imamo v Sloveniji tri mogoče scenarije:

C1: Geodinamika širšega območja, na primer celotne Slovenije

Kot referenčne točke so uporabljene točke službe IGS (angl. International GNSS Service - <http://igsb.jpl.nasa.gov/>), ki imajo dobro določene koordinate in vektorje hitrosti v aktualnem sestavu ITRF (International Terrestrial Reference Frame) (trenutno ITRF2005) in so v okolici Slovenije.

C2: Geodinamika ožjega območja, velikega nekaj 10 km

Referenčne točke so lahko točke omrežja SIGNAL. Položaj referenčnih točk obravnavamo kot časovno spremenljivo (za ITRF vsekakor nujno upoštevanje premikanja točk), saj se točke v sestavu ETRF lahko premaknejo tudi do nekaj milimetrov na leto.

C3: Spremljanje stabilnosti manjšega objekta

Referenčne točke je treba vzpostaviti pred izmero v stabilni okolici enakomerno okoli objekta. Geodetski datum mreže zagotovimo predhodno z izmero referenčnih točk. Pri spremljanju stabilnosti objekta referenčne točke obravnavamo kot stabilne, vendar moramo z meritvami stabilnost potrditi.

Kakovost koordinat točk v geodetski mreži GNSS je odvisna od kakovosti danih koordinat referenčnih točk, kakovosti vektorjev hitrosti referenčnih točk, kakovosti izvedenih meritev, kakovosti tirnic satelitov in kakovosti modeliranja vplivov na meritve. Permanentne postaje IGS so določene na stopnji milimetrskosti natančnosti, koordinate točk v omrežju SIGNAL pa imajo centimetrsko natančnost v sestavu ETRF, kar lahko včasih povzroča težave. Referenčne točke lokalne geodetske mreže GNSS je treba določiti na stopnji milimetrskosti natančnosti.

2.2 Izbira referenčnih točk, ki bodo določale geodetski datum mreže

Izbira in določanje referenčnih (stabilnih) točk mreže sta med najzahtevnejšimi opravili in sta ključnega pomena pri ugotavljanju premikov nestabilnih točk mreže. Bistvena pri tem je izbira ustreznega kraja postavitve referenčnih točk, stabilizacija teh točk in izvedba centriranja. Ne glede na vrsto geodetske izmere (terestrična, GNSS) morajo referenčne točke v postopku preučevanja premikov in deformacij ostati stabilne ali pa moramo zanesljivo poznati njihove premike. Torej morajo biti stabilizirane zunaj območja pričakovanih premikov, hkrati pa čim bližje obravnavanemu objektu. Tako zagotovimo ustrezno natančnost določitve premikov točk. Najbolje je, da se položaji referenčnih točk določijo v sodelovanju z geologi in da se zagotovi tudi ustrezna fizična stabilizacija (Savšek et. al., 2010). Analiza geodetskih meritev za potrebe deformacijske analize temelji na zadostnem številu stabilnih točk zunaj območja premikov.

2.2.1 Terestrična horizontalna izmera

Referenčne točke stabiliziramo z armiranobetonskimi stebri, ki omogočajo enolično in ponovljivo prisilno centriranje instrumenta in reflektorja, ali s klini iz nerjavečega jekla z dodatnim

ekscentričnim stojiščem (za II. stopnjo natančnosti) (Vodopivec in Kogoj, 2005). Za I. stopnjo natančnosti je dovoljena tudi običajna stabilizacija s talnimi oznakami ali klini. Za realizacijo ustrežnejših povezav v mreži, kar lahko pomeni bolj homogeno natančnost in večjo zanesljivost mreže, lahko v mreži stabiliziramo začasne vezne točke, in sicer s stativi, ki so med meritvami stabilni. Položaj veznih točk mora biti približno enak v vseh terminskih izmerah.

2.2.2 Terestrična višinska izmera

V višinski geodetski mreži, ki je navadno razvita v bližini objekta in na njem, s pomočjo geologa in gradbenika izberemo vsaj tri dane referenčne reperje, ki so zunaj območja premikov. Ti reperji bodo določali datum višinske geodetske mreže.

Referenčni reperji morajo biti stabilni. Če je stabilnih reperjev manj od nujno potrebnih, lahko za referenčne reperje izberemo tudi višinske točke, za katere poznamo velikost njihovega premika v prostoru in času (DIN 4107). Predlagamo, da referenčne reperje stabiliziramo s čepi sodčkaste oblike iz nerjavečega jekla, ki jih vgradimo v dovolj star in stabilen objekt (DIN 18708). Če primerne objekta ni, uporabimo tako imenovano talno stabilizacijo, pri kateri je reper vgrajen v ustrezno temeljen temelj.

2.2.3 Izmera GNSS

Pri izmeri GNSS upoštevamo parametre, ki vplivajo na izbiro referenčnih točk (permanentnih postaj GNSS):

- natančnost koordinat (in vektorjev hitrosti) referenčnih točk,
- oddaljenost referenčnih točk od obravnavanega objekta,
- časovno obdobje operativnega delovanja točke (pri permanentni postaji GNSS),
- potrebno natančnost določitve koordinat točk mreže, ki izhaja iz velikosti pričakovanih premikov točk obravnavanega objekta.

Natančnost določitve koordinat točk na objektu je odvisna od natančnosti koordinat referenčnih točk in natančnosti izvedenih meritev (natančnost relativnega položaja dveh točk). Natančnost relativnega položaja dveh točk praviloma narašča s krajšanjem razdalje med točkama, podaljševanjem trajanja izmere na točkah in kakovostjo obdelave meritev GNSS.

Kadar je treba referenčne točke v okolici objekta stabilizirati, predlagamo, da to storimo z armiranobetonskimi stebri ali čepi, vgrajenimi v stabilno podlago, ki omogočajo enolično in ponovljivo prisilno centriranje antene. Po pravilu vedno uporabimo nosilce anten znane dolžine (za II. stopnjo natančnosti). Za I. stopnjo natančnosti je dovoljena tudi običajna stabilizacija s talnimi oznakami ali klini.

2.3 Izbira kontrolnih točk na objektu

Položaj točk na objektu naj predlagata projektant in geodet. Projektant pozna obnašanje objekta ob obremenitvi ter kraje pričakovanih premikov in deformacij. Geodet pozna instrumentarij,

geodetske merske tehnike in pomen geometrije geodetske mreže. Premik točke mora neposredno predstavljati premik objekta ali njegovega dela.

Pri terestrični horizontalni izmeri predlagamo talno stabilizacijo z vgrajenim čepom iz nerjavečega jekla (za II. stopnjo natančnosti). Za I. stopnjo natančnosti je dovoljena tudi običajna stabilizacija s talnimi točkami ali klini. Pri terestrični višinski izmeri reperje stabiliziramo s kovinskimi čepi sodčkaste oblike. Pri stabilizaciji višinskih točk, katerih višine bodo določene z metodo trigonometričnega višinomerstva, upoštevamo navodila za stabilizacijo referenčnih reperjev (Savšek et. al., 2010).

Točke za izmero GNSS morajo ustrezati naslednjim osnovnim zahtevam:

- odsotnost fizičnih ovir v bližini točke (visoki objekti, drevesa, neugoden relief), predvsem južno od točke (zahtevana je odprtost na južno stran neba),
- odsotnost motečih ravnih površin (npr. pločevinaste strehe ali ograje), ki povzročajo odboj satelitskega signala,
- odsotnost motečih virov elektromagnetnega valovanja.

Zaželeno je, da se na referenčnih točkah izvedejo tako meritve GNSS kot terestrične meritve. Tako je omogočena kombinirana izmera GNSS in terestrična geodetska izmera. To je seveda mogoče samo pri geodetskih mrežah, ki nimajo prevelikih razsežnosti.

Točke na objektu stabiliziramo enako kot točke horizontalne terestrične mreže, to je z vgrajenimi čepi, poravnanimi z zunanjo podlago, ki omogočajo prisilno centriranje antene. Za I. stopnjo natančnosti so točke lahko stabilizirane z jeklenimi klini.

3 METODA IZMERE

3.1 Terestrična horizontalna izmera (metoda, vrsta in število meritev v mreži)

Metode izmere, ki omogočajo ustrezno natančnost meritev in se najpogosteje uporabljajo pri določanju horizontalnih premikov, so: triangulacija, trilateracija in poligonometrija (Ie za I. stopnjo natančnosti). Te metode omogočajo ugotavljanje in določanje absolutnih premikov v prostoru neodvisno od sprememb na merjenem objektu. Razsežnost obravnavanih območij ter velikost pričakovanih premikov in deformacij narekujeta izbiro metode izmere in tip instrumentarija.

Če uporabimo kombinirano metodo (triangulacija in trilateracija), povečamo število nadštevilnih meritev. Tako zagotovimo večjo natančnost in zanesljivost položajev točk v geodetski mreži. Horizontalne kote, zenitne razdalje in dolžine merimo najmanj v treh ponovitvah v obeh krožnih legah. Po pravilu merimo po girusni metodi. Pri uporabi sistema za samodejno viziranje opravimo meritve v sedmih girusih. Pri tem moramo paziti, da na vizurah ni nikakršnih ovir in je vidna celotna površina steklene prizme reflektorja. Prav tako ne smemo preseči največje oddaljenosti, pri kateri sistem samodejnega viziranja še deluje.

3.2 Terestrična višinska izmera (potek nivelmanskih linij, zagotovitev dvojnosti, oddaljenost od instrumenta, zagotovitev niveliranja iz sredine)

Nivelmansko linijo niveliramo obojestransko. Tako povečamo natančnost izmerjene višinske razlike in zmanjšamo možnost, da bodo morebitni grobi pogreški ostali neodkriti. Poleg tega dobimo možnost za oceno natančnosti merjenja višinskih razlik na podlagi odstopanj obojestransko merjenih višinskih razlik. Razlika dvojnih merjenj mora biti v dopustnih mejah (glej tabelo). Ne glede na stopnjo natančnosti nivelmansko linijo niveliramo po primerni podlagi. Ta zagotavlja stabilnost izmenišč nivelmanske late. Vpliv refrakcije lahko zmanjšamo, če je oddaljenost vizure od tal najmanj 0,6 m. Največji odčitek na lati naj ne presega 2,8 m. Če je lata postavljena na reper, naj bo odčitek na lati večji od 0,20 m in manjši od 2,80 m (Froelich, Schauerte in Schuler, 2003). Vpliv refrakcije in ukrivljenosti Zemlje najbolj zmanjšamo z niveliranjem iz sredine.

Za I. stopnjo natančnosti lahko največja dolžina vizure znaša 40 m, razlika med dolžinama vizur »spredaj« (S) in »zadaj« (Z) naj bo manjša od 1,5 m, razlika med vsoto dolžin vizur S in Z v nivelmanski liniji pa manjša od 3 m. Za II. stopnjo natančnosti naj bo največja dolžina vizure od 20 do 30 m, postavitev instrumenta v sredino mora biti vsaj na 0,5 m natančna, razlika med vsoto dolžin vizur S in Z v nivelmanski liniji tja-nazaj pa največ 1 m. Za II. stopnjo natančnosti je višinska razlika med izmeniščema late določena z dvojnimi nivelmanom z zaporedjem čitanja: Z-S-S-Z.

Če višinsko razliko določimo s trigonometričnim višinomerstvom (samo I. stopnja natančnosti), naj dolžine med točkami ne presežejo 250 m. Vsaka višinska razlika naj bo določena iz obeh krajnih točk - zenitne razdalje naj bodo merjene obojestransko (za II. stopnjo natančnosti). Pri izračunu višinske razlike moramo vedno upoštevati vpliv ukrivljenosti Zemlje in vpliv vertikalne refrakcije.

3.3 Izmera GNSS (metoda izmere, časovno trajanje meritev, interval registracije)

Najnatanejšje določanje koordinat točk (II. stopnja) zahteva statično izmero s sprejemom signala na točkah najmanj 24 ur (interval registracije 30 s). Če to ni mogoče, merimo vsaj od 6 do 8 ur (15 s). Hitro statično metodo lahko uporabimo le, kadar dolžine baznih vektorjev ne presegajo nekaj kilometrov. Čas izmere naj bo 10 min + 10 min/km vektorja z intervalom registracije med 1 s in 5 s.

Za I. stopnjo natančnosti je mogoča tudi kinematična metoda izmere (RTK, VRS), ki zagotavlja nekaj centimetrov natančen položaj v eni izmeri. Priporoča se vsaj petkratna neodvisna določitev položaja za posamezno točko. Ta postopek naj se za kontrolo opravi več kot enkrat v presledku več kot ene ure.

4 MERSKA OPREMA IN PRIBOR

Natančne geodetske meritve lahko izvajamo le, če imamo na voljo ustrezno natančen in zmogljiv geodetski instrument. Poleg tega potrebujemo veliko dodatne opreme, ki je včasih glavni strošek v

skupni ceni opreme. Kakovost dodatne opreme mora biti primerljiva z natančnostjo instrumenta.

4.1 Terestrična horizontalna izmera

4.1.1 Elektronski tahimeter (vrsta, natančnost po ISO, dokazilo o kalibraciji instrumenta)

V terestričnih geodetskih mrežah visoke natančnosti ustrezne merske količine merimo s preciznimi elektronskimi tahimetri. Deklarirani standardni odklon izmerjenih kotov po ISO 17123 naj bo $\sigma_{\alpha} = (1-2)''$ (za II. stopnjo natančnosti) in $\sigma_{\alpha} = 3''$ (za I. stopnjo natančnosti), standardni odklon merjenih dolžin $\sigma_s \leq (2 \text{ mm}; 2 \text{ ppm})$ (za II. stopnjo natančnosti) in $\sigma_s \leq (3 \text{ mm}; 2 \text{ ppm})$ (za I. stopnjo natančnosti). Poleg tega mora biti instrument preizkušen na pooblaščenem servisu skladno s preizkusno metodo in ustrezati deklarirani točnosti (za II. stopnjo natančnosti). Dokazilo o preizkusu mora biti priloženo poročilu o meritvah in ne sme biti starejše od pol leta.

4.1.2 Pribor za zajemanje meteoroloških podatkov (termometer, barometer, psihrometer – tipi in natančnost ter način zajemanja merskih vrednosti na terenu)

Izmero meteoroloških parametrov pri merjenju dolžin, ki jih uporabimo za upoštevanje vpliva meteoroloških razmer na izmerjene vrednosti dolžin ter za določanje višinskih razlik med točkami, opravimo s termometri, barometri (za I. in II. stopnjo natančnosti) in psihometri (za II. stopnjo natančnosti). V poročilu o meritvah morata biti navedena tip in natančnost merilnika meteorološkega parametra. Nujno je treba navesti postopek zajemanja vrednosti meteoroloških parametrov na terenu. Treba je opisati, kdaj (na začetku, sredini in koncu posameznega girusa, ali med vsako meritvijo dolžine ...), kje (ali pri instrumentu ali pri instrumentu in vizirani točki ...) in kako odčitamo vrednosti meteoroloških parametrov.

4.1.3 Pribor za signalizacijo točk (vrsta in število reflektorjev, signalizacija točk, upoštevanje konstant)

Pri meritvah uporabimo dodatni pribor, ki je nujno potreben za centriranje instrumenta in signalizacijo merjenih točk. Za signalizacijo točk uporabimo precizne merske prizme in reflektorje proizvajalca instrumenta (za II. stopnjo natančnosti). Pri meritvah lahko uporabimo navadne ali mini precizne reflektorje (za I. stopnjo natančnosti). Poročilu o meritvah naj bo priloženo poročilo o določitvi adicijske konstante posameznega reflektorja (za II. stopnjo natančnosti).

4.2 Terestrična višinska izmera

4.2.1 Digitalni nivelir (vrsta, natančnost po ISO, dokazilo o kalibraciji instrumenta)

Za določitev višinskih razlik z metodo geometričnega nivelmana uporabimo precizni digitalni nivelir. Ustreznost instrumenta glede na zahtevano stopnjo natančnosti se ocenjuje na podlagi podatkov proizvajalca. Ne glede na zahtevano stopnjo natančnosti vedno uporabimo preizkušen nivelir (dozna libela, horizontalnost vizurne osi – zapisnik preizkusa mora biti priložen poročilu izmere) in instrument pred izmero prilagoditi temperaturi delovnega okolja. Po standardu

ISO17123-2 je zaradi aklimatizacije instrumenta pred meritvami treba počakati dve minuti za vsako stopinjo Celzija razlike v temperaturi instrumenta in okolja. Stativ postavimo na utrjeno površino, izogibamo se zaplatam asfalta.

Za II. stopnjo natančnosti uporabimo precizni digitalni nivelir (izjemoma klasični precizni nivelir z nitnim križem v obliki klina), ki naj zagotavlja natančnost niveliranja, večjo od 0,5 mm/km dvojnega nivelmana po podatkih proizvajalca (preizkus izveden po DIN 18723 ali ISO 17123-2). Kakovost instrumenta izkazujemo tudi z dokazilom o kalibraciji, ki ga izda pooblaščen serviser. Instrument mora biti kalibriran enkrat na leto.

4.2.2 Invarne nivelmanske late (vrsta, dokazilo o kalibraciji)

Ne glede na zahtevano stopnjo natančnosti uporabljamo nivelmanske late s preizkušeno dozno libelo, ki jih pri postavljanju pazljivo vrhunimo. Za doseganje natančnosti za II. stopnjo uporabljamo le invarne nivelmanske late. Late morajo biti komparirane (Vodopivec in Kogoj, 2001). Poročilo o komparaciji nivelmanskih lat mora biti priloženo poročilu o izmeri. Poročilo ne sme biti starejše od enega leta. Izpolnjene morajo biti tudi zahteve po standardu DIN 18717 (pravokotnost pete late, podnožje nivelmanske late in pogrešek začetka razdelbe (ničla) late).

4.2.3 Pribor za stabilizacijo izmenišč in postavev nivelmanskih lat

Za stabilizacijo izmenišč uporabimo težke žabe (podložke), ki jih položimo na trdno podlago. Če niveliramo na neutrjenem terenu, lahko uporabimo tudi kline, dolge 50 cm. Za zahtevano II. stopnjo natančnosti stabilnost oziroma posedanje izmenišč nivelmanskih lat kontroliramo s časovno simetričnimi odčitki (Z-S-S-Z). Za vertikalno postavitev nivelmanske late in zagotavljanje njene stabilnosti pri odčitavanju uporabimo stojala (za natančnost I. stopnje na primer trasirke).

4.3 Izmera GNSS (izbira metode izmere, izbira ustreznega tipa sprejemnikov in anten GNSS)

Geodetska izmera GNSS naj bo izvedena z dvofrekvenčnimi sprejemniki z zunanjimi geodetskimi antenami z možnostjo zmanjševanja odboja signala (choke-ring antene, uporaba plošče antene). Za II. stopnjo natančnosti morajo biti za uporabljeni tip antene podani parametri absolutne kalibracije pri IGS ali ustreznih službi. Za zelo majhne mreže GNSS (do nekaj kilometrov) lahko uporabimo enofrekvenčne sprejemnike, a se njihovi uporabi raje poskušamo izogniti. Obdelava mora vedno potekati na podlagi faznih opazovanj.

5 POSTOPEK IZRAČUNA KOORDINAT TOČK

5.1 Terestrična horizontalna izmera

Edini dovoljeni način za izračun horizontalnih koordinat referenčnih točk in točk na objektu je ocena z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov popravkov meritev. Le tako lahko dobimo optimalne vrednosti izravnanih koordinat točk in pripadajoče parametre natančnosti določitve

koordinat, ki so pomembne količine pri nadaljnji obravnavi morebitnih premikov točk (Caspary, 2000). Za izravnavo meritev v posamezni terminski izmeri lahko uporabimo različna komercialna programska orodja, kot so Liscad, WinRam, Gem4, Trim, Leica Geo Office ...

Za horizontalne smeri, merjene v več girusih, izračunamo aritmetično sredino reduciranih smeri. Iz merjenih poševnih dolžin v več ponovitvah izračunamo aritmetično sredino posamezne dolžine. Na podlagi valovne dolžine nosilnega valovanja izračunamo lomni količnik za normalno atmosfero, na podlagi izmerjenih meteoroloških podatkov izračunamo dejanski lomni količnik zraka in nato vrednost prvega popravka hitrosti. Dobljeno dolžino preračunamo v vrednost poševne dolžine na nivoju terena, tako imenovano dolžino kamen-kamen. Nato dolžino popravimo za vse potrebne projekcijske popravke. Izračunano dolžino reduciramo na površino referenčnega elipsoida, torej za redukcijo potrebujemo elipsoidne višine točk, med katerima izvedemo izmero dolžine. Na koncu dolžino reduciramo na izbrano projekcijsko ravnino in jo po potrebi moduliramo (Kogoj, 2005). Vrednost reducirane dolžine je vhodni podatek za izravnavo.

Uteži merjenih količin, ki predstavljajo stohastični model izravnave, izračunamo po pravilih za izračun uteži. Postopke za določitev uteži merjenih količin je treba podati v poročilu o izmeri in izračunu posamezne geodetske mreže. Za usklajitev uteži kotnih in dolžinskih meritev priporočamo uporabo metode a posteriori ocene uteži merjenih količin (Kogoj, 1992). V geodetskih mrežah, kjer je nadštevilnih meritev veliko, tako dobimo statistično najverjetnejši rezultat.

Morebitne grobo pogrešene meritve izločimo že med izmero, vendar nujno pred izravnavo. Po izravnavi izvedemo postopek iskanja in lociranja prisotnih grobih pogreškov (Grigillo in Stopar, 2003).

Nadštevilne meritve izravnavo po metodi najmanjših kvadratov, navadno s posredno metodo izravnave. V poročilu o izmeri in izračunu posamezne geodetske mreže je treba podati tudi opis načina določitve natančnosti merjenih in iskanih količin. Končni rezultat so vrednosti koordinat s pripadajočimi merili natančnosti za posamezno terminsko izravnavo geodetske mreže (Welsch in Heunecke, 2001). Končne rezultate prikažemo v numerični in grafični obliki.

5.2 Terestrična višinska izmera

Pri uporabi geometričnega nivelmana že na terenu preverimo, ali so razlike med obojestransko merjenimi višinskimi razlikami manjše od dovoljenega odstopanja. Če je tako, sklepamo, da v meritvah niso prisotni grobi pogreški.

Očitke na nivelmanskimi lati oziroma merjene višinske razlike (II. stopnja natančnosti) je treba popraviti za ustrezne popravke. Pri teh se upoštevajo konstante, dobljene s preizkusom nivelmanskih lat (popravek metra nivelmanske late, popravek pete nivelmanske late), in temperaturni popravek, ki je posledica različne temperature invarne nivelmanske late med preizkusom in izmero na terenu.

Uteži meritev, ki jih uporabimo pri izravnavi, izračunamo po pravilih za izračun uteži. Merila je treba podati v poročilu o izmeri in izračunu posamezne geodetske mreže.

Nadštevilne meritve navadno izravnamo s posredno metodo izravnave po metodi najmanjših kvadratov popravkov meritev. Tako dobimo statistično najverjetnejše vrednosti višin točk s pripadajočo oceno natančnosti višin. Rezultati izravnave so podlaga za nadaljnjo obravnavo morebitnih premikov reperjev. V poročilu o izmeri je treba predstaviti način določitve natančnosti merjenih in iskanih količin. Končni rezultat so višine točk in njihove natančnosti. Rezultate podajamo v numerični obliki, lahko jim dodamo tudi grafični prikaz. Rezultate izmere v višinski mreži obravnavamo kot korektne, če je natančnost višinskih razlik po izravnavi večja od 5 mm/km za I. stopnjo natančnosti oziroma boljša od 1 mm/km za II. stopnjo natančnosti. Za izravnavo izmerjenih višinskih razlik lahko uporabimo različna programska orodja, kot so Liscad, Leica Geo Office, WinVim ...

5.3 Izmera GNSS

Izbiri programske opreme za obdelavo meritev GNSS je treba nameniti ustrezno pozornost. Kakovostna programska oprema bolje modelira vplive na meritve in tako zmanjša vpliv dolžine vektorja med točkama na natančnost (predvsem pa točnost) relativnih koordinat dveh točk. Komercialni programi ustrezajo zahtevam natančnosti deformacijske analize pri vektorjih dolžin do nekaj 10 km, pri daljših vektorjih meritve obdelamo s profesionalno programsko opremo. Večja zahtevana natančnost koordinat točk na objektu zahteva večjo natančnost koordinat referenčnih točk, daljši čas izvajanja izmere, boljši programski paket za obdelavo meritev, poleg tega morajo (načeloma) biti krajše dolžine baznih vektorjev med točkami.

Programske pakete za obdelavo meritev GNSS lahko razdelimo na dve kategoriji:

- Profesionalni programski paketi (Bernese GPS Software, Gipsy-Oasis II, Gamit/Globk), ki so najkakovostnejši in zagotavljajo največjo natančnost končnih rezultatov neodvisno od velikosti mreže in stanja atmosfere. Pri kakovostnih paketih je pričakovati številne kontrolne in vmesne izpise obdelave, tako da kontrola kakovosti podatkov in obdelave ni vprašljiva.
- Komercialni paketi, ki zagotavljajo zadovoljive rezultate za manjše mreže in manj zahtevne naloge, delujejo na podlagi domneve o odpravi številnih pogreškov s formiranjem dvojnih faznih razlik na L3-linearni kombinaciji meritev. Pri komercialnih programskih paketih večinoma dobimo le koordinate točk in oceno njihove natančnosti na podlagi ocenjenih vektorjev med točkami. Ocena kakovosti mreže je tako povsem odvisna od teh parametrov.

Obdelava meritev naj vedno poteka na podlagi merjene faze valovanj, s sestavo dvojnih faznih razlik in ocene neznanega števila celih valov v domeni naravnih števil ter L3-linearne kombinacije za dolge vektorje. Za II. stopnjo natančnosti naj se vedno upoštevajo rezultati kalibracij anten GNSS in natančne efemeride (ultra hitre, hitre, končne). Pri daljših vektorjih je nujno upoštevati modele atmosfere. Uporabljen koordinatni sistem/sestav naj bo za velike mreže (velikosti nekaj 10 km) ITRF, medtem ko je za male mreže (velikosti nekaj kilometrov) lahko ETRF. Pomembno je, da se pri obdelavi meritev GNSS v isti mreži uporabljajo iste nastavitve za vse terminske

izmere. Pri I. stopnji natančnosti ni nujna obravnava rezultatov kalibracij anten, za krajše vektorje lahko uporabimo s satelita oddane efemeride. Pri II. stopnji natančnosti uporabimo kalibrirane antene in natančne efemeride.

Kakovostna obdelava meritev GNSS poteka v treh korakih. Najprej se določijo koordinate točk na podlagi realnih vrednosti neznanih števil celih valov (NŠCV), ki se uporabijo za določitev celih vrednosti NŠCV (drugi korak). Te vrednosti se uporabijo za končno oceno koordinat točk mreže (tretji korak). Cenilke kakovosti rezultatov obdelave meritev GNSS so v različnih programih različne, vendar lahko vse povzamemo v tri kategorije. Prva je rezultat »čiščenja« podatkov, druga rezultat določitve NŠCV kot naravnih števil in tretja natančnosti koordinat točk. Pri ocenjevanju NŠCV kot naravnih števil kontroliramo količino NŠCV, ki so bili ocenjeni kot cela števila. Cenilka kakovosti je tudi referenčna varianca a posteriori ter razmerje med drugo in prvo najboljšo rešitvijo (Dach et al., 2007, TTC Help, Leica Geo Office Help).

6 UGOTAVLJANJE STABILNOSTI REFERENČNIH TOČK IN PREMIKOV TOČK NA OBJEKTU

Na podlagi izravnave mreže kot proste in uporabe metod deformacijske analize je mogoče v mreži identificirati stabilne točke. Pogoj za uspešno določitev nestabilnih točk je, da so v mreži najmanj tri referenčne točke stabilne v celotnem obdobju opazovanj. Te točke določajo geodetski datum v vseh terminkih izmerah. Dodatno je lahko nekaj točk kontrolnih. Pri terestrični izmeri za določitev geodetskega datuma običajno uporabimo vse stabilne referenčne točke.

Za določitev premikov kontrolnih točk mrežo običajno izravnamo kot prosto in jo nato s podobnostno transformacijo vklopimo na stabilne referenčne točke. Za I. stopnjo natančnosti je dovoljeno mrežo izravnati kot vklopljeno. Pri tem seveda zanemarimo vpliv pogreškov danih količin na vrednost koordinat kontrolnih točk in njihovo natančnost.

Na podlagi razlik koordinat identičnih točk, izračunanih v posamezni terminski izmeri, izračunamo velikost in smer vektorjev premikov. Premike tudi statistično ovrednotimo. V splošnem velja, da je premik značilen, če je večji oziroma enak trikratniku natančnosti določitve premika (Savšek-Safić et al., 2006).

7 PROBLEMATIKA POVEZAVE REZULTATOV, DOBLJENIH S KLASIČNIMI TERESTRIČNIMI MERITVAMI IN MERITVAMI GNSS

Povezavo klasičnih terestričnih meritev in meritev GNSS je mogoče izvesti na več načinov. To lahko storimo s skupno obdelavo na ravni normalnih enačb, obdelavo z uvedbo psevdomeritev (koordinate točk ali vektorji med točkami, pridobljeni z metodo GNSS) v model terestričnih meritev ali s primerjavo rezultatov obeh merskih tehnik z metodami transformacij.

V praksi je povezava med metodama največkrat uporabljena pri izvajanju meritev GNSS na točkah, ki določajo geodetski datum terestrične mreže. Rezultati obdelave meritev GNSS pa so za terestrično mrežo večinoma samo približne koordinate, ki se uporabijo za obdelavo terestričnih meritev po načelu proste mreže. Rezultati izmere GNSS za potrebe izravnave terestričnih meritev

v terestrični geodetski mreži so pomembni tudi za približno (a dokaj točno) določitev lege točk mreže na referenčnem elipsoidu in za potrebe pravilne izvedbe redukcij terestričnih meritev na računsko referenčno ploskev.

8 SKLEP

Pričujoči prispevek skupaj s prispevkom Savšek et al. (2010) predstavlja vlogo in realizacijo geodezije v geotehnikih. Obravnavana problematika se dotakne predvsem vloge geodezije pri ugotavljanju stabilnosti tal in objektov. V zelo zgoščeni obliki sta predstavljena problem in pot do njegove rešitve. Prispevka sta lahko pomoč in izhodišče pri strokovni obravnavi teh vprašanj.

Podlaga za rešitev zastavljene naloge je zagotovitev razmer za merjenje, predvsem je pomembna ustrezna stabilizacija geodetskih točk in oblika geodetske mreže. S korektno izvedbo meritev ob uporabi ustreznega instrumentarija z zajemanjem parametrov razmer okolja zagotovimo kakovostne merske vrednosti. Pogoj za doseg optimalnih rezultatov je izločitev grobih pogreškov iz opazovanj, upoštevanje sistematičnih vplivov in uporaba ustreznega matematičnega modela izravnave. Statistična analiza nam omogoča identifikacijo stabilnih točk, kar je pogoj za ugotavljanje premikov kontrolnih točk na opazovanem objektu.

Na koncu naj še dodamo, da se ob vsej korektnosti izvedbe projekta vse premalo zavedamo, kako pomemben je način prikaza končnih rezultatov. Ti morajo biti prikazani v numerični in po možnosti tudi grafični obliki ter na način, ki naj bo strokovno čimbolj eksakten, na drugi strani pa tudi čimbolj privlačen in razumljiv za naročnika.

| OPRAVILO | TERESTRIČNA HORIZONTALNA IZMERA | | TERESTRIČNA VIŠINSKA IZMERA | | IZMERA GNSS | |
|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti |
| PROJEKCIJSKE MREŽE | Referenčne točke na stabilnem območju in točke na objektu; dovolj nadštevilih opazovanj. | Referenčne točke na stabilnem območju in točke na objektu; simulacije in predhodna izravnavna mreže; dovolj nadštevilih opazovanj; optimizacija mreže glede meril natančnosti in zanesljivosti. | Referenčni rešetki na stabilnem območju. | Referenčni rešetki na stabilnem območju in kontrolni rešetki na objektu; dovolj nadštevilih opazovanj. | Referenčne točke na stabilnem območju in točke na objektu, odsotnost fizičnih ovir v okolici točk. | |
| IZBIRA REFERENČNIH TOČEK | Referenčne točke na stabilnem območju. | Referenčne točke na stabilnem območju. | Referenčni rešetki na stabilnem območju. | Referenčni rešetki na stabilnem območju in kontrolni rešetki na objektu; dovolj nadštevilih opazovanj. | Točke omrežja SIGNAL in lastne referenčne točke. | Permanente postaje službe IGS z najnatančnejše določenimi koordinatami in vektorji hitrosti; lastne točke, ki imajo mm natančnost položaja (na kratkih oddaljenostih od točk na objektu). |
| STABILIZACIJA | Običajna stabilizacija s tahnimi oznakami ali klini; začasne vezne točke za izboljšanje oblike mreže. | Precizna tahna stabilizacija z ekscentričnim stojščem ali amiranobetonski stebni. | Čepi sodčaste oblike ali tahni rešetki. | | Običajna stabilizacija s klini ali tahnimi oznakami. | Precizna stabilizacija z amiranobetonskimi stebni ali vgrajenimi čepi; uporaba nosilcev antene znane, konstantne dolžine. |
| MERSKA OPREMA in PRIBOR | Kalibracija instrumenta (pooblaščen servis); določitev adicijskih konstant reflektorjev. | Preizkus instrumenta (ISO 17123-3 ali DIN 18723-3) in kalibracija instrumenta (pooblaščen servis); precizni reflektorji vsaj na referenčnih točkah; določitev adicijskih konstant reflektorjev. | Preizkus in uravnavanje dozne lišbe; preizkus horizontalnosti vizurne osi; dozne lišbe late; podložke; oziroma podpiranje s trasirkami. | Preizkus in uravnavanje dozne lišbe; preizkus horizontalnosti vizurne osi; preizkus instrumenta (ISO 17123-2); kalibracija instrumenta (pooblaščen servis); preizkus in uravnavanje dozne lišbe late; uporaba preizkušanih (kompariranih) invarnih (vsebinskih) lat; uporaba posebnega nastavka za centrično postavljanje; podložke; stojala. | Geodetski eno- ali dvofrekvenčni sprejemniki GNSS; geodetske antene; kalibracija antene (IGS ali podobne službe). | Geodetski dvofrekvenčni sprejemnik GNSS, geodetske antene; kalibracija antene (IGS ali podobne službe). |

Preglednica 1: Zagotavljanje razmer pred izmero.

| OPRAVILLO INSTRUMENT | TERESTRIČNA HORIZONTALNA IZMERA | | TERESTRIČNA VIŠINSKA IZMERA | | IZMERA GNSS | |
|--|---|---|--|---|---|---|
| | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti |
| | Elektronski tahimeter σ_a in $\sigma_r \leq 3''$ (ISO 17123-3) $\sigma_s \leq 3$ mm; 2 ppm (ISO 17123-4) | Elektronski tahimeter σ_a in $\sigma_r \leq 1''$ (ISO 17123-3) $\sigma_s \leq 2$ mm; 2 ppm (ISO 17123-4) | Digitalni ali klasični niveilir $\sigma_{\Delta h} \leq 1-2$ mm/km dvojnega nivojnana (ISO 17123-2, DIN 18723-2). | Digitalni ali klasični niveilir $\sigma_{\Delta h} \leq 0,5$ mm/km dvojnega nivojnana (ISO 17123-2, DIN 18723-2). | Geodetski dvofrekvenčni (daljši vektorji – nad 5 km) ali enofrekvenčni (kratkši vektorji – pod 5 km) sprejemniki; geodetske antene, možnost odprave odboja signala (t.i. »ohoke-ring« antene, uporaba antenskih plošč). | Geodetski dvofrekvenčni sprejemniki; geodetske antene, možnost odprave odboja signala (t.i. »ohoke-ring« antene, uporaba antenskih plošč). |
| DODATNA OPREMA | Navadni reflektorji; termometer; barometer. | Precizni reflektorji; termometer; barometer; psihrometar. | Podložke; klini na neutrjenem zemljišču; traširke; stojala. | Podložke; klini na neutrjenem zemljišču; stojala; termometer. | | |
| CENTRIRANJE POSTAVITEV INSTRUMENTA | Optično centriranje instrumenta in reflektorja. | Prisilno centriranje instrumenta in reflektorja. | Utrjena površina; izogibamo se zaplata na asfalta; mehka podlaga: stativa in podložke ne »pohodimo« premočno. | Optično centriranje antene GNSS. | Optično centriranje antene GNSS. | Prisilno centriranje antene GNSS, mogoča uporaba posebnih adapterjev. |
| IZMENIŠČA METODA IZMERE | Triangulacija, trilateracija, poligonometrija, trigonometrično višinomestvo; | Triangulacija, trilateracija, trigonometrično višinomestvo; | Podložke, klini na neutrjenem zemljišču. | Geometrični nivojnan – generalni nivojnan; obojestranske meritve; višina vizur – najmanj 0,6 m, – največ 2,8 m; dolžina vizur do 40 m; razlika dolžin spredaj-zadaj manjša od 1,5 m; razlika všot dolžin spredaj in zadaj v liniji do 3 m. | Geometrični nivojnan – generalni nivojnan; obojestranske meritve; višina vizur – najmanj 0,6 m, – največ 2,8 m; dolžina vizur od 20 do 30 m. Razlika dolžin spredaj- zadaj manjša od 0,5 m, in zadaj v liniji do 1 m. | Statična izmera; interval registracije: 30 s ali 15 s za statično metodo in 5 s za hitro statično metodo; minimalni višinski kot: 10°-15° za komercialno programsko opremo in 1°-3° za profesionalno programsko opremo; trajanje izmere: vsaj 6 ur, priporoča se najmanj 12 ur. |
| NACIN IZVEDBE MERITEV ZAHTEVE IN OMEJITVE | povezava na najmanj tri točke; najmanj tri ponovitve v dveh krožnih legah. | povezava na najmanj tri točke, obojestransko med referenčnimi točkami; najmanj tri ponovitve v dveh krožnih legah, ob uporabi sistema AIT (samodejno viziranje) sedem ponovitev v obeh krožnih legah. | Geometrični nivojnan – generalni nivojnan; obojestranske meritve; višina vizur – najmanj 0,6 m, – največ 2,8 m; dolžina vizur do 40 m; razlika dolžin spredaj-zadaj manjša od 1,5 m; razlika všot dolžin spredaj in zadaj v liniji do 3 m. | Statična, hitra statična metoda, v dobrih razmerah (število satelitov, odprt horizont) kinematični metodi (RTK in VRS) z več (10) ponovitvami izmere poločaja; interval registracije: 30 s za statično in 5 (10) s za hitro statično metodo; vsaj 10 ponovitev izmer s kinematičnimi metodami; minimalni višinski kot: 10°-15°; | Statična, hitra statična metoda, v dobrih razmerah (število satelitov, odprt horizont) kinematični metodi (RTK in VRS) z več (10) ponovitvami izmere poločaja; interval registracije: 30 s za statično in 5 (10) s za hitro statično metodo; vsaj 10 ponovitev izmer s kinematičnimi metodami; minimalni višinski kot: 10°-15°; | trajanje izmere: vsaj 3 ure za statično metodo in 10 min+10 min/km za hitro statično metodo. |

Preglednica 2: Izvedba meritev.

| OPRAVILO | TERESTRIČNA HORIZONTALNA IZMERA | | TERESTRIČNA VIŠINSKA IZMERA | | IZMERA GNSS | |
|--|--|--|--|--|---|-------------------------|
| | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti |
| <p>IVODNI PODATKI</p> <p>TIP MERITEV</p> | <p>Reducirane sredine horizontalnih smeri in sredine zenitnih razdalj; reducirane dolžine; a priori natančnosti;</p> <p>σ_s, σ_α in σ_β ocenimo iz opazovanj.</p> | <p>Geometrični nivoelman; aritmetična sredina dvojnih meritev; a priori natančnost $\sigma_{\beta 0}$ ocenimo iz razlik dvojnih opazovanj; zapiranja zank.</p> <p>Trigonometrično višinsmerstvo; upoštevati vpliv ukrivljenosti Zemlje in refrakcije.</p> | <p>Popravljenе merjene višinske razlike (meter late, peta late, temperaturni popravek); a priori natančnost $\sigma_{\beta 0}$ ocenimo iz razlik dvojnih opazovanj; zapiranja zank.</p> | <p>Fazna opazovanja na obeh frekvencah, izjemoma za kratke vektorje uporaba ene frekvenčne.</p> | <p>Fazna opazovanja na obeh frekvencah.</p> | |
| <p>PRISOTNOST GROBIH POGREŠKOV</p> | <p>Neodvisne računske kontrole v postopku obdelave opazovanj (zapiranje horizonta, zapiranje mnogokotnikov ...) ali danska metoda.</p> | <p>Popojava metoda; danska metoda po Izravnavi.</p> | <p>Zapiranje višinskih zank, razlika dvojnih merenj nivoelmske linije, največje dovoljeno odstopanje:</p> $\Delta_{\text{dov}} = 2\sqrt{s + 0,04s^2}$ | <p>Kontrola zapiranja likov pred izravnavo.</p> <p>Baardova metoda, Pojeova metoda po Izravnavi.</p> | | |
| <p>KOORDINATNI SISTEM V OBDELAVI</p> | <p>Državni (D96) ali lokalni horizontalni.</p> | <p>Državni ali lokalni višinski.</p> | | <p>Koordinatni sestav ETRF89 (manjša območja do 5 km) ali aktualni koordinatni sestav ITRF (večja območja – nad 5 km).</p> | <p>Aktualni koordinatni sestav ITRF.</p> | |
| <p>UPORABLJENE EFEMERIDE</p> | | | | <p>S satelita oddane (broadcast) ali precizne efemeride vseh vrst (precizne, hitre, ultrahitre).</p> | <p>Precizne efemeride, kjer za krajše vektorje (do 10 km) lahko uporabimo hitre precizne efemeride.</p> | |
| <p>KALIBRACIJE ANTEN</p> | | | | <p>Rezultatov kalibracije ni treba upoštevati.</p> | <p>Upoštevati je treba rezultate kalibracije.</p> | |
| <p>DOLOČITEV UTEŽI MERJENIH KOLIČIN</p> | <p>Po pravilih za določitev uteži.</p> | <p>Po pravilih za določitev uteži; priporočljiva a posteriori ocena uteži.</p> | | <p>Določiti programski paket.</p> | | |
| <p>NAČIN IZRAVNAVE</p> | <p>Posredna metoda izravnave; prosta mreža.</p> | | | | | |

Preglednica 3a: Izravnava z oceno natančnosti meritev in neznank – obdelava meritev – 1.

| OPRAVILO | TERESTRIČNA HORIZONTALNA IZMERA | | TERESTRIČNA VIŠINSKA IZMERA | | IZMERA GNSS | |
|--|---|---|--|---|---|---|
| | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti |
| PROGRAMSKA OPREMA | LisCad, WinRam, Gem4, Trim, Leica Geo Office ... druga komercialna programska oprema, ki omogoča zahtevane izračune in analize. | LisCad, WinVim, Leica Geo Office ... druga komercialna programska oprema, ki omogoča zahtevane izračune in analize. | LisCad, WinVim, Leica Geo Office ... druga komercialna programska oprema, ki omogoča zahtevane izračune in analize. | Komercialna programska oprema (Trimble Total Control, Leica Geo Office, Topcon TopSurv, ...). | Za dolge vektorje (več kot 20 km) nujna uporaba profesionalne programske opreme (Bernese, Gipsy-OASIS, Gamiit); za krajše vektorje mogoče uporabiti komercialne pakete. | Za dolge vektorje (več kot 20 km) nujna uporaba profesionalne programske opreme (Bernese, Gipsy-OASIS, Gamiit); za krajše vektorje mogoče uporabiti komercialne pakete. |
| REFERENČNI STANDARDNI ODKLON | $0,6 \leq \sigma_0 \leq 1,5$ | $0,99 \leq \sigma_0 \leq 1,01$ z a posterijori, oceno uteži, sicer $0,8 \leq \sigma_0 \leq 1,2$ | $\sigma_0 \leq 5$ mm/km | $\sigma_0 \leq 1$ mm/km | Referenčna varianca manjša od 3,0 in razmerje med drugo in prvo najboljšo rešitvijo (ratio) nad 3. | Natančnosti koordinat za realno (float) rešitev in referenčna varianca a posterijori ($\sigma_p \leq 2$); natančnosti določitive neznanih števil celih valov in referenčna varianca končne rešitve ($\sigma_0 \leq 2$). |
| MERILA KAKOVOSTI (GNSS) | | | | | | |
| KONČNI REZULTATI | Koordinate točk mreže z oceno natančnosti meritev in koordinat mreža je lahko vključena na referenčne točke. | Horizontalne koordinate točk mreže z ocenjeno položajno natančnostjo; mrežo moramo obravnavati kot prosto mrežo; izračunani položaji referenčnih točk se s podobnostno transformacijo primerjajo z danimi vrednostmi. | Višine točk mreže z oceno natančnosti merjenih višinskih razlik in višin točk; mreža je vključena na referenčne reparje. | Višine točk mreže z ocenjeno natančnostjo; mrežo moramo obravnavati kot prosto mrežo; izračunana višine referenčnih reparjev, se s podobnostno transformacijo primerjajo z danimi vrednostmi. | Ocenjene koordinate vseh referenčnih točk in točk na objektu; mreža je vključena na referenčne točke, če so preverjeno stabilne. | Ocenjene koordinate vseh točk mreže in parametri troposfere; mrežo moramo obravnavati kot prosto mrežo, ocenjeni položaji referenčnih točk se s podobnostno transformacijo primerjajo z danimi vrednostmi. |
| NATANČNOST DOLOČITVE KOORDINAT | $\sigma_p \leq 10$ mm (natančnost položaja) | $\sigma_p \leq 2$ mm (natančnost položaja) | $\sigma_H \leq 10$ mm (natančnost višine) | $\sigma_H \leq 2$ mm (natančnost višine) | $\sigma_p \leq 10$ mm (natančnost položaja) | $\sigma_p \leq 2$ mm (natančnost položaja) |
| POVEZAVA REZULTATOV GNSS IN TERESTRIČNO IZMEREJENE MREŽE | Podobnostna transformacija v ravnini. | Upoštevanje redukcij opazovanj v geometrijski računski prostor. | Transformacija v izbrani višinski sistem. | Upoštevanje redukcij opazovanj v geometrijski računski prostor – izbira ustreznega višinskega sistema. | Podobnostna transformacija v ravnini kartografske projekcije ali v prostoru. | Povezava prek psevdopodobnostne transformacije v prostoru. |

Preglednica 3b: Izravnava z oceno natančnosti meritev in neznank – obdelava meritev – 2.

| OPRAVILO | TERESTRIČNA HORIZONTALNA IZMERA | | TERESTRIČNA VTIŠNSKA IZMERA | | IZMERA GNSS | |
|-------------------------------------|---|--|--|---|---|---|
| | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti | I. stopnja natančnosti | II. stopnja natančnosti |
| ANALIZA TERMINSKIH IZMER | Izračun d in σ_d . | | | | | |
| STABILNOST REFERENČNIH TOČK | Referenčna točka je stabilna, če velja: $d/\sigma_d \leq 3$. | | | | | |
| ŠTEVILO STABILNIH REFERENČNIH TOČK | Najmanj dve referenčni točki sta stabilni v celotnem obdobju opazovanj in določata geodetski datum v vseh terminskih izmerah. | Najmanj trije referenčni točki so stabilni v celotnem obdobju opazovanj; vsi stabilni referenčni točki določajo geodetski datum v vseh terminskih izmerah. | Referenčna točka je stabilna, če velja: $d/\sigma_d \leq 3$. | Najmanj dve referenčni točki sta stabilni v celotnem obdobju opazovanj in določata geodetski datum v vseh terminskih izmerah. | Najmanj tri referenčne točke so stabilne v celotnem obdobju opazovanj in določajo geodetski datum v vseh terminskih izmerah; dodatno je lahko nekaj točk kontrolnih (ne določajo datuma). | Obdelava kot prosta mreža, vključna na več stabilnih referenčnih točk s podobnostno transformacijo. |
| PONOVA IZRAVNAVA OBDELAVA | Izravnavna vključljene mreže na stabilne referenčne točke. | Izravnavna vključljene mreže na vse stabilne referenčne točke s podobnostno transformacijo. | Izravnavna vključljene nivelmanske mreže na stabilne referenčne točke. | Obdelava z vključkom na stabilne referenčne točke. | Obdelava kot prosta mreža, vključna na več stabilnih referenčnih točk s podobnostno transformacijo. | Obdelava kot prosta mreža, vključna na več stabilnih referenčnih točk s podobnostno transformacijo. |
| TESTIRANJE PREMICOV TOČK NA OBJEKTU | Premik je značilen, če velja: $d/\sigma_d \geq 3$. | | | | | |

Preglednica 4: Ugotavljanje stabilnosti referenčnih točk in testiranje premikov točk na objektu.

Literatura in viri

- Caspary, W. F. (2000). *Concepts of Network and Deformation Analysis*. School of Surveying, Kensington, The University of New South Wales.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., Meindl, M. (2007). *Bernese GPS Software, Version 5.0*. Bern, Švica, Astronomski Inštitut Univerze v Bernu.
- Deutsche Normen DIN 18708 (1970). *Hoehenbolzen*. Berlin, Nemčija.
- Deutsche Normen DIN 4107 (1978). *Setzungsbeobachtungen an entstehenden und fertigen Bauwerken*. Berlin, Koeln, Nemčija.
- Deutsche Normen DIN 18723 (1990). *Feldverfahren zur Genauigkeitsuntersuchung geodaetischer Instrumenta – Teil 2: Nivellire*. Berlin, Nemčija.
- Deutsche Normen DIN 18717 (1996). *Praezisions-Nivellirlatten*. Berlin, Nemčija.
- Froehlich, H., Schauerte, W., Schuler, D. (2003). *Praxistipps zum Praezisionsnivelllement mit Digitalnivelliren*. Sankt Augustin, Nemčija. Selbstverlag Froehlich.
- Grigillo, D., Stopar, B. (2003). *Metode odkrivanja grobih pogreškov v geodetskih opazovanjih*. *Geodetski vestnik*, 47(4), 387–403.
- International Standard ISO 17123 (part 1-theory, 2-levels, 3-theodolites in 4-electro-optical distance meters) (2001). *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments*.
- Kogoj, D. (1992). *Izbira najprimernejše metode a-posteriori ocene uteži merjenih količin geodetskih mrež*. Doktorska disertacija. Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Kogoj, D. (2005) *Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljermi*, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Leica, 2009. *Leica Geo Office, Version 7.0*
- Savšek S., Ambrožič, T., Kogoj, D., Koler, B., Sterle, O., Stopar, B. (2010). *Geodezija v geotehniki*. *Geodetski vestnik*, 54(1), 31–45.
- Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. (2006). *Determination of Point Displacements in the Geodetic Network*. *Journal of Surveying Engineering, ASCE*, 132(2), 58–63.
- Trimble, 2002. *Trimble Total Control, Version 2.7*
- Vodopivec, F., Kogoj, D. (2001). *Ein neuer Komparator für die Kalibrierung von Nivellierlatten auf der Basis eines optischen Encodersystems*. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 108(8/9), 296–301.
- Vodopivec, F., Kogoj, D. (2005). *Nov način precizne stabilizacije geodetskih točk za opazovanje premikov*. *Geodetski vestnik*, 49(1), 9–17.
- Welsch, W., Heunecke, O. (2001). *Models and Terminology for the Analysis of Geodetic Monitoring Observations*. Official Report FIG Working Group, Institute of Geodesy, Hannover.

Prispelo v objavo: 22. maj 2010

Sprejeto: 16. avgust 2010

doc. dr. Božo Koler, univ. dipl. inž. geod.

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: bozo.koler@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Simona Savšek, univ. dipl. inž. geod.

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: simona.savsek@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič, univ. dipl. inž. geod., univ. dipl. inž. rud.

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: tomaz.ambrozic@fgg.uni-lj.si

asist. mag. Oskar Sterle, univ. dipl. inž. geod.

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: oskar.sterle@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: bojan.stopar@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Dušan Kogoj, univ. dipl. inž. geod.

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: dusan.kogoj@fgg.uni-lj.si