

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/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Pretnar, L., 2014. Primerjava uporabe GNSS-koordinatnih osnov različne kakovosti pri polarni metodi zakoličbe. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentor Urbančič, T.): 35 str.

Datum arhiviranja: 13-10-2014

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 original version of final thesis.

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

Pretnar, L., 2014. Primerjava uporabe GNSS-koordinatnih osnov različne kakovosti pri polarni metodi zakoličbe. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Urbančič, T.): 35 pp.

Archiving Date: 13-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA**

Kandidat:

Diplomska naloga št.: 64/GIG

Graduation thesis No.: 64/GIG

Mentorica:

Predsednik komisije:

prof. dr. Bojan Stopar

Somentor:

Ljubljana, 16. 09. 2014

IZJAVE

Podpisani Luka Pretnar izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Primerjava uporabe GNSS-koordinatnih osnov različne kakovosti pri polarni metodi zakoličbe«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju.

Ljubljana 6.9.2014

Luka Pretnar

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.2(497.4)(043.2)
Avtor: Luka Pretnar
Mentor: doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
Somentor: asist. Tilen Urbančič
Naslov: Primerjava uporabe GNSS-koordinatnih osnov različne kakovosti pri polarni metodi zakoličbe
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 35 str., 4 pregl., 19 sl., 60 en.
Ključne besede: koordinatna osnova, zakoličba, hitra statična izmera GNSS, RTK-GPS izmera, pravi pogrešek

Izvleček

V diplomski nalogi je predstavljeno področje zakoličevanja točk na osnovi vzpostavitve koordinatne osnove z dvema različnima GNSS-metodama. Naloga obravnava vzpostavitev koordinatne osnove s hitro statično metodo izmere in z RTK-GPS metodo izmere ter nadaljnjo zakoličbo na podlagi vzpostavljenih koordinatnih osnov. V diplomski nalogi je prikazano, da je za vzpostavitev koordinatne osnove primernejša metoda hitre statične izmere in ne RTK-GPS metoda izmere, ki se v večini primerov uporablja v praksi. Razlika med metodama je v nalogi prikazana na konkretnih primerih. V nalogi je prav tako predstavljena izpeljava za določitev natančnosti položaja zakoličevane točke z uporabo zakona o prenosu varianc in kovarianc ter z uporabo zakona prenosu pogreškov.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.2(497.4)(043.2)
Author: Luka Pretnar
Supervisor: Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Cosupervisor: Assist. Tilen Urbančič
Title: Comparison of a different quality GNSS-coordinate basis usage in polar stake-out method
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 35 p., 4 tab., 19 fig., 60 eq.
Keywords: coordinate basis, stake-out, fast static GNSS, RTK-GPS surveying method, true error

Abstract

This thesis presents a different coordinate basis establishment by two GNSS methods in the procedure of a new point position stake-out. The coordinate basis establishment is performed first using fast static and second RTK-GPS surveying method. We show fast static GNSS surveying method is superior to RTK-GPS surveying method, which is often used in practice. The difference between the two methods is represented in concrete practical examples, performed in the fieldwork. The thesis also includes the derivation to determine the accuracy of a stake-out point position using the propagation law of variances and covariances as well as using the propagation law of true errors.

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren in somentorju asist. Tilnu Urbančiču. Zahvaljujem se tudi predstojniku dodiplomskega študija geodezije prof. dr. Bojanu Stoparju za podporo v času študija.

Posebna zahvala gre tudi staršem, ki so mi ves čas študija stala ob strani in mi tudi omogočili nemoten potek študija.

KAZALO VSEBINE

Izjave.....	II
Bibliografsko - dokumentacijska stran in izvleček	III
Bibliographic - documentalistic information and abstract	IV
Zahvala.....	V
1 UVOD	8
1.1 Delovne hipoteze.....	8
1.2 Koordinatna osnova.....	8
2 OPIS PROBLEMA	10
2.1 Določitev natančnosti horizontalnega položaja nove točke, če so znani standardni odkloni	10
2.1.1. Določitev horizontalne dolžine (zakoličbeni element).....	11
2.1.2 Natančnost izračuna smernega kota	11
2.1.3 Izračun smernega kota od dane k novi točki	12
2.1.4 Položajna natančnost točke, ki jo zakoličujemo.....	14
2.2 Določitev pravih pogreškov horizontalnega položaja nove točke.....	15
2.2.1 Zakon o prenosu pravih pogreškov za prehod iz poševne v Hz dolžino	15
2.2.2 Pravi pogrešek za smerni kot	16
2.2.3 Izračun pravega pogreška smernega kota od dane k novi točki	16
2.2.4 Izračun pravega pogreška za horizontalni položaj nove točke.....	16
2.3 Določitev natančnosti višine nove točke.....	17
3 DELO NA TERENU – OPAZOVANJA GNSS	19
3.1 Predstavitev uporabljenih metod izmere GNSS	19
3.2 Opis dela na terenu	19
4 OBDELAVA PODATKOV GNSS IZMERE.....	21
4.1 Opis cenilk kakovosti vektorjev.....	22
4.2 Rezultati obdelave.....	22
5 DELO NA TERENU – ZAKOLIČBA S POLARNO METODO.....	25
5.1 Potek dela	25
6 ZAKLJUČEK.....	34
VIRI.....	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Skica polarne metode zakoličbe.....	10
Slika 2: Določitev smernega kota.....	11
Slika 3: Prikaz lokacije delovišča na terenu – Prevalje pod Krimom:	20
Slika 4: Rezultati τ -testa v programu Leica Geo Office.....	23
Slika 5: Parametri standardnih elips pogreškov v programu Leica Geo Office	24
Slika 6: Točke geodetske mreže.....	25
Slika 7: Dane točke (E,F,G,H,I) in zakoličevani točki (A,B).....	26
Slika 8: Milimeterski papir.....	26
Slika 9: Legenda simbolov uporabljenih za prikaz sprememb položaja zakoličevanih točk	27
Slika 10: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke E	27
Slika 11: Sprememba položaja zakoličevane točke B s stojiščne točke E	28
Slika 12: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke F	28
Slika 13: Sprememba položaja zakoličevane točke B s stojiščne točke F	29
Slika 14: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke H.....	30
Slika 15: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke H – povečan prikaz zgornjega dela	31
Slika 16: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke H - povečan prikaz spodnjega dela	32
Slika 17: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke I	32
Slika 18: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke I - povečan prikaz zgornjega dela	33
Slika 19: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke I - povečan prikaz spodnjega dela	33

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prikaz izravnanih koordinat v programu Leica Geo Office – ETRS89.....	23
Preglednica 2: Prikaz izravnanih koordinat v programu Leica Geo Office – D96/TM	23
Preglednica 3: Prikaz koordinat pridobljenih pri RTK-GPS izmeri – D96/TM.....	24
Preglednica 4: Razdalja med danimi točkami	25

1 UVOD

V diplomski nalogi smo analizirali zakoličbo na osnovi različne vzpostavitve koordinatne osnove z metodami izmere GNSS (angl. Global Navigation Satellite System). Na osnovi vnaprej vzpostavljene koordinatne osnove v novem koordinatnem sistemu D96/TM z različnimi metodami izmere GNSS, s statično metodo in z RTK-GPS metodo izmere, smo nato različne koordinatne osnove uporabil za nadaljnjo zakoličbo.

V diplomski nalogi smo ugotavljali tudi, kako na natančnost zakoličbe točke vpliva natančnost določitve položaja stojiščne in orientacijske točke.

Predpostavke, iz katerih smo izhajali, so bile sledeče:

- z RTK-GPS (angl. Real Time Kinematic) metodo je položaj točke slabše določen, kar vpliva na natančnost določitve položaja točke, ki jo zakoličujemo
- dolžina med danima točkama vpliva na natančnost zakoličbe
- položaje orientacijskih točk, ki so bili določeni v izravnavi mreže, nadalje obravnavamo kot neodvisno določene količine
- zakoličba je v višinskem smislu pravilna le v relativnem smislu oziroma v sistemu elipsoidnih višin, medtem ko v absolutnem smislu oziroma v smislu normalnih-ortometričnih višin višinsko zakoličbo glede točnosti obravnavamo bolj previdno, saj predpostavljamo, da model geoida ni optimalno določen. V primeru, da bi želeli imeti pravilne rezultate v absolutnem smislu oziroma v sistemu normalnih-ortometričnih višin, bi morali konkretno delovišče povezati tudi s kvalitetno višinsko točko državne višinske mreže in uporabiti ustrezno metodo določitve višinskih razlik, najbolje nivelman
- na samo zakoličbo vpliva tudi izbor instrumenta, kjer vnaprej poznamo dosegljivo natančnost meritev.

1.1 Delovni hipotezi

Na osnovi prej omenjenih predpostavk smo postavili naslednji delovni hipotezi:

- hitra statična metoda izmere GNSS je najbolj primerna za vzpostavitev koordinatne osnove za zakoličbo
- večja oddaljenost med stojiščno točko in točko orientacije je v primeru, ko ne moremo izvajati statične metode izmere GNSS (v primeru, da nimamo na voljo programskega paketa za obdelavo opazovanj GNSS) in koordinatno osnovo vzpostavljamo na osnovi kinematičnih metod izmere GNSS, kamor spada RTK-GPS, boljša izbira. Kljub vsemu je potrebno položaj točke z metodo RTK-GPS izmere potrebno določiti večkrat neodvisno, v časovnem razmiku vsaj 20 minut, kjer uporabimo različne inicializacije.

1.2 Koordinatna osnova

Koordinatno osnovo vzpostavljamo za potrebe vseh nadaljnjih geodetskih del. Koordinatna osnova služi za zakoličevanje točk, za določitev položajev točk v ravnini ali v prostoru, prav tako pa na podlagi koordinatne osnove izvajamo vse katastrske meritve in meritve potrebna za izdelavo topografskega načrta. [3]

Koordinatno osnovo so včasih vzpostavljali s klasično terestrično geodetsko izmero (z merjenjem horizontalnih kotov, kasneje pa tudi dolžin), danes pa koordinatno osnovo vzpostavljamo predvsem z

metodami izmere GNSS. V praksi predvsem uporabljajo manj natančno kinematično metodo RTK-GPS, čeprav je za vzpostavitev koordinatne osnove boljša hitra statična metoda GNSS izmere. Največje prednosti metod izmere GNSS pred klasičnimi metodami so:

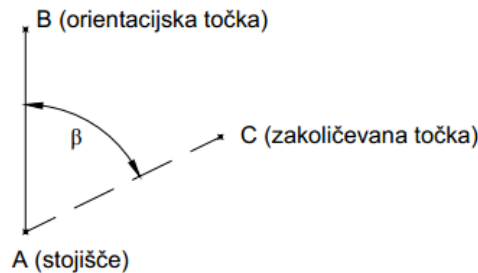
- vidnost med točkami ni več potrebna
- natančnost položaja nove točke je odvisna predvsem od oddaljenosti med točkami, ne pa od same geometrije mreže
- na osnovi opazovanj, opravljenih z metodami izmere GNSS, dobimo 3D položaj, vendar so višine dobro določene le v sistemu elipsoidnih višin, v kolikor točk ne povežemo z dobro višinsko osnovo. [7]

Kot je bilo že omenjeno, se v praksi namesto statične metode GNSS izmere največkrat uporablja RTK-GPS metoda izmere. Z RTK-GPS metodo izmere pri vzpostavitvi koordinatne osnove dosežemo slabšo natančnost določitve položaja kot s hitro statično metodo izmere. Največjo težavo pri RTK-GPS metodi izmere predstavlja določitev neznanega števila celih valov (fazne nedoločenosti) v postopku inicializacije. Uspešno izvedena inicializacija na začetku, pred izvedbo nadaljnjih meritev, je v postopku določitve položaja s kinematičnimi metodami z uporabo faznih opazovanj osnovni pogoj, da lahko pravilno določimo položaje točk. Ker je postopek vezan na kratkotrajne meritve, ki so lahko obremenjene z različnimi vplivi, kot tudi na trenutno razporeditev satelitov, so lahko po določenem času položaji točk določeni slabše. To pomeni, da moramo po približno 30 minutah postopek inicializacije ponoviti. [8]

Na terenu smo na podlagi vzpostavljenih koordinatnih osnov z RTK-GPS metodo izmere in s hitro statično metodo izmere GNSS zakoličevali dve točki. Ugotavljali smo, kako se spreminja položaj zakoličene točke ob uporabi ene ali druge koordinatne osnove. Glavni cilj diplomske naloge je pokazati, da kvalitetnejšo vzpostavitev koordinatne osnove predstavlja hitra statična metoda GNSS-izmere.

2 OPIS PROBLEMA

Zakoličevanje je prenos koordinat točk v naravo in je tako obraten postopek kot meritve terena. Pri zakoličevanju točk na terenu največkrat uporabimo polarno metodo zakoličbe, kjer sta glavna zakoličbena elementa kot med orientacijsko smerjo β in smerjo zakoličevane točke ter dolžina d od stojiščne točke do zakoličevane točke C. [4]



Slika 1: Skica polarne metode zakoličbe

V nalogi smo izhajali iz situacije, da sta stojiščna točka A in točka orientacije B določeni z dvema različnima metodama izmere. Poizkušali smo predstaviti, kako različne oddaljenosti med stojiščno (A) in orientacijsko točko (B) in dejstvo, da so položaji točk določeni z različno kvaliteto, vpliva na končno določitev položaja točke T, ki jo zakoličujemo.

V kolikor je mogoče pridobiti standardne odklone posameznih koordinat točk A in B, natančnost določitve položaja zakoličevane točke C izpeljemo s pomočjo zakona o prenosu varianc in kovarianc, podrobno opisanim v poglavju 2.1.

V kolikor standardnih odklonov posameznih koordinat ni mogoče enostavno pridobiti, in na to se nanaša tudi naš primer, lahko uporabimo le zakon o prenosu pogreškov. Vedeti je potrebno, da smo vsako točko določili najprej s hitro statično izmero GNSS in nato trikrat neodvisno z metodo RTK. Le tri neodvisne meritve niso dovolj za določitev vpliva sistematičnih pogreškov oziroma standardnih odklonov. Izpeljavo za naš primer podajamo v poglavju 2.2. Ker bi bilo nalogo mogoče kdaj še nedgraditi z več meritvami, vseeno podajamo tudi izpeljavo preko zakona o prenosu varianc in kovarianc.

2.1 Določitev natančnosti horizontalnega položaja nove točke, če so znani standardni odkloni

V splošnem izhajamo iz dejstva, da imamo na voljo položaje (najprej v horizontalni ravnini, v našem primeru v D96/TM koordinatnem sistemu) danih točk A in B in pripadajoče natančnosti, predstavljene v variančno-kovariančnih matrikah Σ_{xx_A} in Σ_{xx_B} :

$$A(e_A, n_A) \quad \Sigma_{xx_A} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_A}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{n_A}^2 \end{bmatrix}$$

$$B(e_B, n_B) \quad \Sigma_{xx_B} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_B}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{n_B}^2 \end{bmatrix}$$

oziroma v skupni variančno-kovariančni matriki:

$$\Sigma_{xx} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_A}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{n_A}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{e_B}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{n_B}^2 \end{bmatrix}$$

2.1.1. Določitev horizontalne dolžine (zakoličbeni element)

Prehod iz poševne dolžine v horizontalno dolžino je potreben zaradi dejstva, da je dolžina od stojiščne točke do zakoličevane točke izračunana iz ravninskih koordinat, ki so dane v novem koordinatnem sistemu D96/TM. Tako za pravi položaj zakoličene točke potrebujemo horizontalne dolžine. Tekom zakoličbe pa opazujemo poševno dolžino d_p in zenitno razdaljo z , katerih natančnosti sta podani kot:

$$\Sigma_{xx} = \begin{bmatrix} \sigma_{d_p}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_z^2 \end{bmatrix}$$

Za izpeljavo natančnosti prehoda iz poševne dolžine v horizontalno oblikujemo funkcijo:

$$F \equiv d_{HZ} = d_p \cdot \sin z$$

in nato z izračunom odvodov funkcije po podanih količinah oblikujemo Jakobijevo matriko:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial d_{HZ}}{\partial d_p} & \frac{\partial d_{HZ}}{\partial z} \end{bmatrix} = [\sin z \quad d_p \cdot \cos z]$$

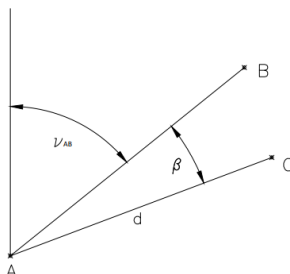
Natančnost horizontalne višine po prehodu iz poševne tako izračunamo po enačbi:

$$\Sigma_{yy} = J \cdot \Sigma_{xx} \cdot J^T = [\sigma_{d_{HZ}}^2]$$

Od tu naprej imamo pripravljene podatke za izračun položaja in natančnosti položaja nove točke C v horizontalni ravnini.

2.1.2 Natančnost izračuna smernega kota

Dani točki najprej vplivata na natančnost izračuna smernega kota, preko katerega bomo nadalje računali položaj nove (zakoličevane) točke.



Slika 2: Določitev smernega kota

Pri tem izhajamo iz enačbe:

$$F \equiv \nu_A^B = \text{atan}\left(\frac{e_B - e_A}{n_B - n_A}\right) \pm 180^\circ$$

Z izračunom odvodov funkcije po danih količinah (v našem primeru koordinatah točk A in B) oblikujemo Jakobijevo matriko:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_A^B}{\partial e_A} & \frac{\partial v_A^B}{\partial n_A} & \frac{\partial v_A^B}{\partial e_B} & \frac{\partial v_A^B}{\partial n_B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{n_A - n_B}{d_{AB}^2} & \frac{e_B - e_A}{d_{AB}^2} & \frac{n_B - n_A}{d_{AB}^2} & \frac{e_A - e_B}{d_{AB}^2} \end{bmatrix}$$

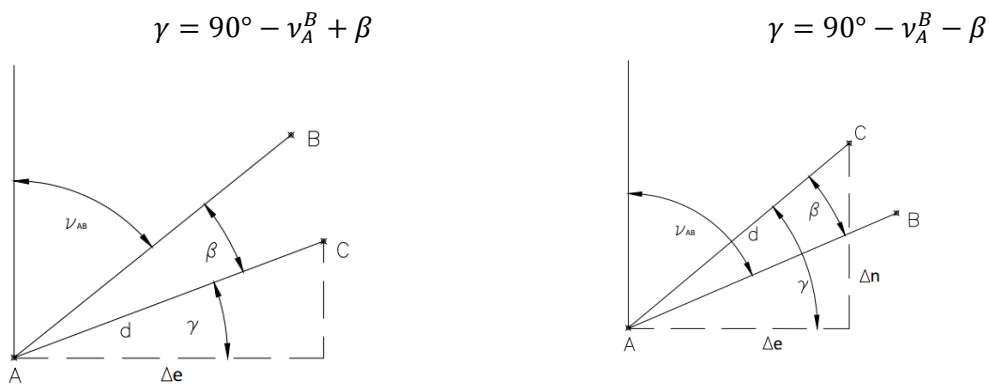
in izračunamo natančnost smernega kota:

$$\Sigma_{yy} = J \cdot \Sigma_{xx} \cdot J^T = \left[\sigma_{v_A^B}^2 \right]$$

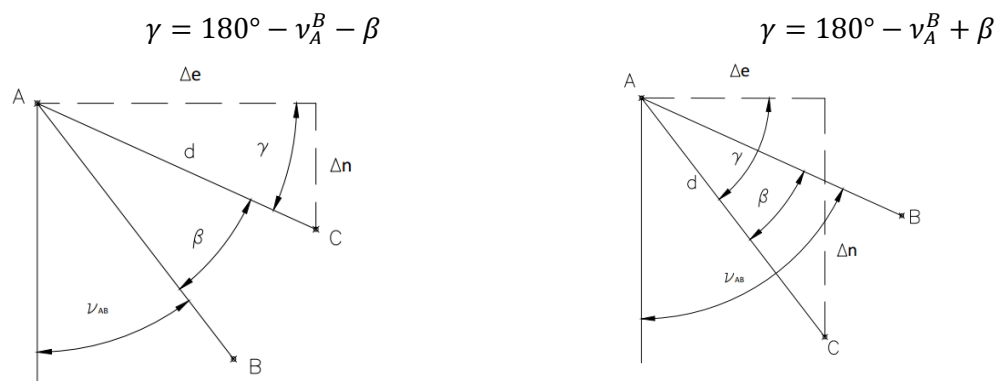
2.1.3 Izračun smernega kota od dane k novi točki

V nadaljnjem postopku zakoličevanja moramo poleg smernega kota upoštevati tudi horizontalni kot β , ki smo ga pridobili iz meritev in je ključni zakoličbeni element poleg dolžine. Pri tem je potrebno pravilno določiti kvadrant, v katerem se smerni kot nahaja, kot tudi, kako naprej opazujemo (kot β). Možnih je 8 različnih situacija za zakoličbo, ki jih podajamo na spodnjih skicah.

Smerni kot v_A^B leži v prvem kvadrantu:

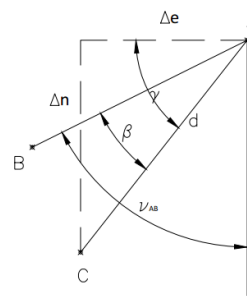
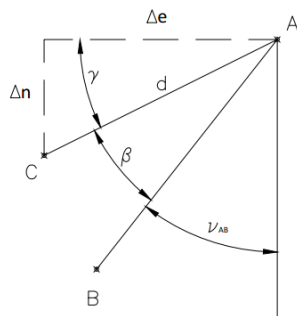


Smerni kot v_A^B leži v drugem kvadrantu



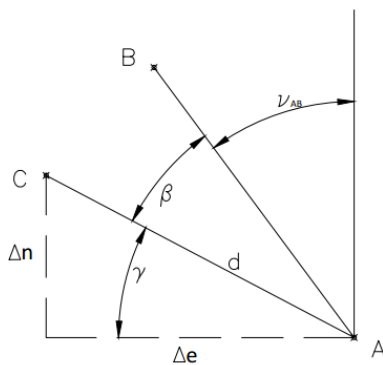
Smerni kot v_A^B leži v tretjem kvadrantu

$$\gamma = 180^\circ + v_A^B + \beta \qquad \gamma = 180^\circ + v_A^B - \beta$$

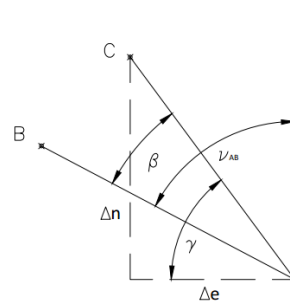


Smerni kot ν_A^B leži v četrtem kvadrantu

$$\gamma = 360^\circ - \nu_A^B - \beta$$



$$\gamma = 360^\circ - \nu_A^B + \beta$$



Izhajamo iz danih količin, položajev točk A in B ter horizontalnega kota β :

$$\Sigma_{xx} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_A}^2 & & & & \\ & \sigma_{n_A}^2 & & & 0 \\ & & \sigma_{e_B}^2 & & \\ & & & \sigma_{n_B}^2 & \\ & & & & \sigma_{\beta}^2 \end{bmatrix}$$

Za izpeljavo natančnosti kota γ (komplementarni kot smernemu kotu od dane točke A k novi točki C) uporabimo zakon o prenosu varianc in kovarianc:

$$F_1 \equiv e_A = e_A$$

$$F_2 \equiv n_A = n_A$$

$$F_3 \equiv \gamma = 90^\circ \mp \text{atan}\left(\frac{e_B - e_A}{n_B - n_A}\right) \pm \beta$$

Pri čemer sta prvi dve enačbi zapisani zaradi izpeljave funkcijske odvisnosti med kotom γ in danimi položaji točk A in B. Po izpeljavi namreč želimo pridobiti kovarianco $\sigma_{\gamma e_A}$.

Oblikujemo Jakobijevo matriko:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial e_A} & \frac{\partial F_1}{\partial n_A} & \frac{\partial F_1}{\partial e_B} & \frac{\partial F_1}{\partial n_B} & \frac{\partial F_1}{\partial \beta} \\ \frac{\partial F_2}{\partial e_A} & \frac{\partial F_2}{\partial n_A} & \frac{\partial F_2}{\partial e_B} & \frac{\partial F_2}{\partial n_B} & \frac{\partial F_2}{\partial \beta} \\ \frac{\partial F_3}{\partial e_A} & \frac{\partial F_3}{\partial n_A} & \frac{\partial F_3}{\partial e_B} & \frac{\partial F_3}{\partial n_B} & \frac{\partial F_3}{\partial \beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{n_B - n_A}{d_{HZ_{AB}}^2} & \frac{e_A - e_B}{d_{HZ_{AB}}^2} & \frac{n_A - n_B}{d_{HZ_{AB}}^2} & \frac{e_B - e_A}{d_{HZ_{AB}}^2} & 1 \end{bmatrix}$$

In izračunamo natančnost kota γ ter kovarianco $\sigma_{\gamma e_A}$, ki se nahaja v matriki:

$$\Sigma_{yy} = J \cdot \Sigma_{xx} \cdot J^T = \begin{bmatrix} \sigma_{e_A}^2 & 0 & \sigma_{e_A \gamma} \\ 0 & \sigma_{n_A}^2 & \sigma_{n_A \gamma} \\ \sigma_{\gamma e_A} & \sigma_{\gamma n_A} & \sigma_{\gamma}^2 \end{bmatrix}$$

Natančnost kota γ je odvisna od natančnosti koordinat stojiščne točke A in koordinat orientacijske točke B. Od natančnosti koordinat stojiščne in orientacijske točke je odvisna tudi natančnost smernega kota, ki prav tako vpliva na natančnost kota γ . Prav tako je natančnost kota γ odvisna tudi od zakoličbenega elementa, to je kot β .

Z izračunom natančnosti položaja nove točke dobimo podatek o natančnosti zakoličenih točk. Dobimo elemente standardne elipse zaupanja ter tako dobimo podatek, v katerem območju se z določeno verjetnostjo najverjetneje nahaja zakoličena točka.

2.1.4 Položajna natančnost točke, ki jo zakoličujemo

Pri izpeljavi natančnosti položaja nove točke v horizontalni ravnini izhajamo iz danih količin, to je točk A in B ter meritev, to je horizontalnega kota β in horizontalne dolžine d . Pri tem upoštevamo funkcijske povezave smernega kota med dano in novo točko (komplementarni kot γ) z danimi količinami, tako da variančno-kovariančna matrika vključuje tudi kovariance:

$$\Sigma_{xx} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_A}^2 & 0 & \sigma_{\gamma e_A} & 0 \\ 0 & \sigma_{n_A}^2 & \sigma_{\gamma n_A} & 0 \\ \sigma_{\gamma e_A} & \sigma_{\gamma n_A} & \sigma_{\gamma}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{d_{HZ}}^2 \end{bmatrix}$$

Položaj nove točke C izračunamo z enačbama:

$$F_1 \equiv e_c = e_A + \cos \gamma \cdot d_{HZ}$$

$$F_2 \equiv n_c = n_A + \sin \gamma \cdot d_{HZ}$$

Za natančnost določitve položaja pa potrebujemo odvode funkcij po danih količinah (položaj točke A, kot γ , v katerem je posredno vključen zakoličbeni kot β) in horizontalni dolžina d_{HZ} . Oblikujemo Jakobijevo matriko:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial e_A} & \frac{\partial F_1}{\partial n_A} & \frac{\partial F_1}{\partial \gamma} & \frac{\partial F_1}{\partial d_{HZ}} \\ \frac{\partial F_2}{\partial e_A} & \frac{\partial F_2}{\partial n_A} & \frac{\partial F_2}{\partial \gamma} & \frac{\partial F_2}{\partial d_{HZ}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -d \cdot \sin \gamma & \cos \gamma \\ 0 & 1 & d \cdot \cos \gamma & \sin \gamma \end{bmatrix}$$

in izračunamo natančnost položaja nove točke C (zakoličbene točke):

$$\Sigma_{yy} = J \cdot \Sigma_{xx} \cdot J^T = \begin{bmatrix} \sigma_{e_c}^2 & \sigma_{ec\ nc} \\ \sigma_{ec\ nc} & \sigma_{n_c}^2 \end{bmatrix}$$

2.2 Določitev pravih pogreškov horizontalnega položaja nove točke

V kolikor ne moremo na osnovi primerjave koordinat enostavno pridobiti standardnih deviacij, si pomagamo s postopkom prenosa pravih pogreškov in izpeljemo izračun pravih pogreškov, v našem primeru koordinat nove točke C.

Med pravo vrednostjo (statična izmera GNSS) koordinat danih točk A in B in koordinatami, določenimi z RTK, zaradi premalo ponovitev ne moremo enostavno pridobiti standardnih deviacij. Zgornja izpeljava (2.1) drži za primer, ko lahko naredimo strogo ločnico med sistematičnimi in slučajnimi pogreški. Pri nas imamo pravzaprav opravljen s kombinacijo slučajnih (σ) in sistematičnih (β) pogreškov:

$$M^2 = \sigma^2 + \beta^2$$

Tri neodvisne meritve RTK na posameznih točkah so premalo, da bi lahko določili vpliv sistematičnih pogreškov. Zato si pomagamo tako, da zgoraj opisani postopek poenostavimo in napišemo zakon o prenosu pravih pogreškov.

Izhajamo iz prave vrednosti določitve koordinat s statično metodo izmere GNSS:

$$\tilde{e}_i \text{ in } \tilde{n}_i \dots \text{ kjer je } i \text{ posamezna točka}$$

Odmik posamezne določitve koordinate z RTK od prave vrednosti, imenujemo pravi pogrešek posamezne koordinate. Pravzaprav imamo tu 3 prave pogreške za posamezno koordinato, ker imamo tri neodvisne RTK-meritve, ki jih primerjamo z rezultati statične izmere GNSS:

$$\begin{array}{lll} de_{i,1} = \tilde{e}_i - e_{i,RTK,1} & dn_{i,1} = \tilde{n}_i - n_{i,RTK,1} & \rightarrow 1. \text{ določitev koordinat z RTK za točko } i \\ de_{i,2} = \tilde{e}_i - e_{i,RTK,2} & dn_{i,2} = \tilde{n}_i - n_{i,RTK,2} & \rightarrow 2. \text{ določitev koordinat z RTK za točko } i \\ de_{i,3} = \tilde{e}_i - e_{i,RTK,3} & dn_{i,3} = \tilde{n}_i - n_{i,RTK,3} & \rightarrow 3. \text{ določitev koordinat z RTK za točko } i \end{array}$$

Nadalje pa je izpeljava podobna kot v podglavju 2.1, le da tokrat za izračun pravih pogreškov uporabimo totalni diferencial, kjer se v dx_j nahajajo pravi pogreški koordinat danih točk, računamo pa prave pogreške koordinat zakoličene točke (dy_j):

$$dy_j = J_j dx_j.$$

2.2.1 Zakon o prenosu pravih pogreškov za prehod iz poševne v Hz dolžino

Horizontalno dolžino izračunamo direktno iz opazovanj in kot taka ni obremenjena s problematiko določitve koordinatne osnove:

$$F \equiv d_{HZ} = d_p \cdot \sin z$$

Zato za prehod iz poševne v horizontalno dolžino na danem mestu ne bomo izpeljali prenosa pravih pogreškov, saj nam je cilj pokazati, kako nepravilno določena koordinatna osnova vpliva na končni rezultat. Vseeno je potrebno vedeti, da kvaliteta izbora natančnosti klasičnih meritev bistveno vpliva na končni rezultat zakoličbe točk – to pa smo že pokazali.

2.2.2 Pravi pogrešek za smerni kot

$$\text{Dane količine: } dx_1 = \begin{bmatrix} de_{A,1} \\ dn_{A,1} \\ de_{B,1} \\ dn_{B,1} \end{bmatrix} \quad dx_2 = \begin{bmatrix} de_{A,2} \\ dn_{A,2} \\ de_{B,2} \\ dn_{B,2} \end{bmatrix} \quad x_3 = \begin{bmatrix} de_{A,3} \\ dn_{A,3} \\ de_{B,3} \\ dn_{B,3} \end{bmatrix}$$

Izhajamo iz funkcije, ki vključuje vse podatke:

$$F \equiv v_A^B = \text{atan} \left(\frac{e_B - e_A}{n_B - n_A} \right) \pm 180^\circ$$

Nato z izračunom odvodov funkcije po podanih količinah oblikujemo Jakobijevo matriko:

$$J_j = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_A^B}{\partial e_A} & \frac{\partial v_A^B}{\partial n_A} & \frac{\partial v_A^B}{\partial e_B} & \frac{\partial v_A^B}{\partial n_B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{n_{A,j} - n_{B,j}}{d_{AB,j}^2} & \frac{e_{B,j} - e_{A,j}}{d_{AB,j}^2} & \frac{n_{B,j} - n_{A,j}}{d_{AB,j}^2} & \frac{e_{A,j} - e_{B,j}}{d_{AB,j}^2} \end{bmatrix}$$

ter preko totalnega diferenciala $dy_j = J_j dx_j \quad j = 1,2,3$

pridobimo pravi pogrešek smernega kota: $dy_j = \left[dv_A^B \right]_{j=1,2,3}$.

2.2.3 Izračun pravega pogreška smernega kota od dane k novi točki

Kot γ nam služi kot pomoč pri končnem izračunu položaja nove točke v ravnini. Podrobneje je situacija predstavljena že v prejšnjem poglavju (odvisno, v katerem kvadrantu se kot nahaja). Ker kot računamo preko smernega kota in ker je smerni kot obremenjen s pravim pogreškom, je tudi kot γ obremenjen s pravim pogreškom.

Tokrat izhajamo iz enačbe za izračun γ :

$$F \equiv \gamma = 90^\circ \mp \text{atan} \left(\frac{e_B - e_A}{n_B - n_A} \right) \pm \alpha$$

Spet bomo na danem mestu predpostavili, da kot β , ki ga dobimo direktno iz meritev, ni obremenjen s pravim pogreškom. Še vedno izpeljujemo situacijo, kjer želimo pokazati, kako kvaliteta koordinatne osnove vpliva na končni rezultat.

Oblikujemo Jakobijevo matriko:

$$J_j = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial e_A} & \frac{\partial F}{\partial n_A} & \frac{\partial F}{\partial e_B} & \frac{\partial F}{\partial n_B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{n_{B,j} - n_{A,j}}{d_{HZAB,j}^2} & \frac{e_{A,j} - e_{B,j}}{d_{HZAB,j}^2} & \frac{n_{A,j} - n_{B,j}}{d_{HZAB,j}^2} & \frac{e_{B,j} - e_{A,j}}{d_{HZAB,j}^2} \end{bmatrix}$$

$j = 1,2,3$

in preko totalnega diferenciala $dy_j = J_j dx_j \quad (j = 1,2,3)$ izračunamo prave pogreške kota γ ($dy_j = [dy_j]$). Vidimo, da je kot γ ob dani predpostavki, v zvezi s kotom β obremenjen z enakim pravim pogreškom kot smerni kot.

2.2.4 Izračun pravega pogreška za horizontalni položaj nove točke

Izhajamo iz enačb za izračun položaja nove točke:

$$F_1 \equiv e_c = e_A + \cos \gamma \cdot d_{HZ}$$

$$F_2 \equiv n_c = n_A + \sin \gamma \cdot d_{HZ}$$

Zopet izhajamo iz predpostavke, da so s pravimi pogreški obremenjene koordinate točk, smerni kot, ki je vključen v kot γ , zato tvorimo Jakobijevo matriko kot:

$$J_j = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial e_{A,j}} & \frac{\partial F_1}{\partial n_{A,j}} & \frac{\partial F_1}{\partial \gamma_j} \\ \frac{\partial F_2}{\partial e_{A,j}} & \frac{\partial F_2}{\partial n_{A,j}} & \frac{\partial F_2}{\partial \gamma_j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -d \cdot \sin \gamma_j \\ 0 & 1 & d \cdot \cos \gamma_j \end{bmatrix}$$

Poznamo prave pogreške v koordinatah in v kotu γ :

$$dx_1 = \begin{bmatrix} de_{A,1} \\ dn_{A,1} \\ de_{B,1} \\ dn_{B,1} \\ d\gamma_1 \end{bmatrix} \quad dx_2 = \begin{bmatrix} de_{A,2} \\ dn_{A,2} \\ de_{B,2} \\ dn_{B,2} \\ d\gamma_2 \end{bmatrix} \quad x_3 = \begin{bmatrix} de_{A,3} \\ dn_{A,3} \\ de_{B,3} \\ dn_{B,3} \\ d\gamma_3 \end{bmatrix}$$

in s totalnim diferencialom $dy_j = J_j dx_j$ ($j = 1,2,3$) izračunamo prave pogreške v položaju točke

$$C: dx_j = \begin{bmatrix} de_{c,j} \\ dn_{c,j} \end{bmatrix}, (j = 1,2,3).$$

2.3 Določitev natančnosti višine nove točke

Višino točke določamo glede na predhodno določeno referenčno ploskev, ki skupaj z izhodiščno točko z znano višino določa višinski datum [5]. Pri izpeljavi natančnosti višinske komponente izhajamo iz natančnosti podatkov: višina instrumenta i , višina tarče t , višina točke H_A , merjena poševna dolžina d_p , zenitna razdalja z , katerih natančnosti predstavljamo v variančno-kovariančni matriki:

$$\Sigma_{xx} = \begin{bmatrix} \sigma_i^2 & & & & \\ & \sigma_t^2 & & & \\ & & \sigma_{H_A}^2 & & \\ & & & \sigma_{d_p}^2 & \\ & & & & \sigma_z^2 \end{bmatrix}$$

Za izpeljavo višinske natančnosti določitve nove točke C izhajamo iz enačbe:

$$F \equiv H_c = H_A + i + d_p \cdot \cos z - t$$

Nato z izračunom odvodov funkcij po podanih količinah oblikujemo Jakobijevo matriko:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_c}{\partial i} & \frac{\partial H_c}{\partial t} & \frac{\partial H_c}{\partial H_A} & \frac{\partial H_c}{\partial d_p} & \frac{\partial H_c}{\partial z} \end{bmatrix} = [1 \quad -1 \quad 1 \quad \cos z \quad -d_p \cdot \sin z]$$

Končno višinsko natančnost tako izračunamo po enačbi:

$$\Sigma_{yy} = J \cdot \Sigma_{xx} \cdot J^T = [\sigma_{H_c}^2]$$

Pri višinski natančnosti je potrebno omeniti še problematiko GNSS-višinomerstva. Višino točke v državnem koordinatnem sistemu izračunamo po enačbi $H = h - N$, kjer so:

- h ... elipsoidna višina točke v ETRS89,
- N ... geoidna višina točke in
- H ... nadmorska višina točke v državnem višinskem sistemu [1]

Natančnost normalne-ortometrične višine v državnem višinskem koordinatnem sistemu je odvisna od natančnosti izvorne višine (elipsoidna višina h) in od kakovosti uporabljenega absolutnega modela geoida na danem območju. [1]

Ocenjena natančnost geoidnih višin v modelu je dokaj visoka in homogena za celotno ozemlje.

Slovenije ter znaša od 2 cm do 3 cm. Primeri v praksi so pokazali, da so lahko odstopanja med izračunanimi geoidnimi višinami iz modela in tistimi, določenimi iz meritev, tudi do 20 cm (Urbanč, 2007). [2]

3 DELO NA TERENU – OPAZOVANJA GNSS

3.1 Predstavitev uporabljenih metod izmere GNSS

- RTK (angl. Real time kinematic) metoda izmere: omogoča določitev položaja točke v realnem času. S premičnim sprejemnikom GPS se na opazovano točko postavimo za 10 do 60 sekund. V osnovi je RTK-GPS metoda izmere kinematična metoda, ki je lahko tudi Stop-and-Go metoda ali tudi kombinacija kinematične in hitre statične metode GPS izmere. Za določitev položaja točke z uporabo RTK-GPS metode izmere potrebujemo delujočo komunikacijsko povezavo, ki je lahko radijska ali preko mobilnega omrežja, med referenčnim in premičnim GPS sprejemnikom. Prav tako pa potrebujemo tudi ustrezno programsko opremo za obdelavo faznih opazovanj GPS pridobljenih z obema sprejemnikoma GPS. Največja prednost RTK-GPS metode izmere pred ostalimi metodami je, da že med samo izmero na terenu pridobimo informacije o kvaliteti opravljenih meritev. [3]
- Hitra statična metoda izmere: v vseh glavnih lastnostih je hitra statična metoda enaka statični metodi izmere. Bistvena razlika je v dolžini opazovanj na posamezni točki, ki namesto od 30 do 120 minut traja od 20 do 30 minut. Opazovanja na posamezni točki temeljijo na spremembi geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj. Pri statični metodi izmere naj bi bila vsaka točka neodvisno opazovana vsaj dvakrat, tudi zato, da lahko določimo nepravilnosti v izmerjeni višini sprejemnika. Opazovanja na točkah lahko izvajamo v več serijah z več sprejemniki. Rezultat obdelave faznih opazovanj hitre statične izmere so najprej bazni vektorji med pari točk, nadalje pa pridobimo položaje točk tako, da dani točki prištejemo/odštejemo predhodno izračunani bazni vektor. Če je teh v mreži več, kot je nujno potrebnih, mrežo izravnamo. Hitra statična metoda izmere zagotavlja visoko natančnost pri določevanju položaja točke. Slabost hitre statične metode v primerjavi z RTK-GPS metodo izmere je, da na terenu nimamo podatkov o natančnosti opravljenih meritev, temveč te podatke pridobimo šele z naknadno obdelavo v ustreznem programskem paketu. [3]

Obe predstavljeni metodi se uporabljata za vzpostavitev geodetske koordinatne osnove in smo jih tudi uporabili v diplomski nalogi.

3.2 Opis dela na terenu

Opazovanja GNSS so bila opravljena v petek, 10.1.2014 na travniku (približni položaj podajamo z geografskima koordinatama $\varphi = 45^{\circ}57'54''$ S; $\lambda = 14^{\circ}23'22''$ V) nad vasjo Prevalje pod Krimom. Območje travnika, na katerem smo izvajali meritve, je z rdečo piko označeno na sliki 3.



Slika 3: Prikaz lokacije delovišča na terenu – Prevalje pod Krimom:
 $\varphi=45^{\circ}57'54''$ S; $\lambda = 14^{\circ}23'22''$ V

Opazovanja so se izvajala od 6.00 ure do 10.30 ure po GPS času. Interval registracije je bil nastavljen na 5 sekund, minimalni višinski kot pa na 15° .

Opazovanja smo izvajali s hitro statično metodo, vendar pa nam je uporabljena metoda vzela nekoliko več časa, saj smo meritve na posamezni točki izvajali neprekinjeno od 20 do 30 minut. Za dokončno pridobitev natančnih koordinat je bila potrebna še naknadna obdelava opazovanj GNSS v ustreznem programskem paketu.

4 OBDELAVA PODATKOV GNSS-IZMERE

Vhodni podatki za obdelavo GNSS-vektorja v programu LEICA Geo Office so bila kodna (C/A) in fazna (L1 in L2) opazovanja, zapisana v binarnih datotekah ali RINEX (*.yyO), položaji satelitov, predstavljeni v obliki efemerid (uporabili smo precizne efemeride službe IGS), vsaj ena dana točka v koordinatnem sistemu GNSS ter podatki o kalibracijskih protokolih anten. [6]

Obdelavo podatkov smo naredili dvakrat, enkrat je bila dana točka stalna a postaja GSR1, drugič pa je dano točko predstavljala virtualna referenčna postaja s koordinatami:

$\varphi = 45^{\circ}57'15,4''$ S; $\lambda = 14^{\circ}04'00''$ V. Podatke o opazovanjih smo pridobili z omrežja SIGNAL.

Obdelava v programu poteka tako, da najprej iz kodnih opazovanj pridobimo apriori približni položaj, nato pa sledi obdelava faznih opazovanj, kjer ločimo dve frekvenci: L1 in L2. [6]

Položaj določamo preko faznih opazovanj, ki jih lahko predstavimo z enačbo:

$$\varphi_A^i(t) = \frac{f}{c} \cdot \rho_A^i(t) - f \cdot \left[1 - \frac{\rho_A^i(t)}{c} \right] \cdot dt_k + f dt^P + N_k^P(l) + \frac{a^i}{c} \cdot \rho_A^i(t) + I_{A,\varphi}^i(t) + \frac{f}{c} \cdot T_A^i(t) + \varepsilon_\varphi$$

Pri tem je z oznako $\varphi_A^i(t)$ predstavljeno fazno opazovanje med sprejemnikom A in satelitom i v trenutku t . V enačbi nastopajo neznanke, ki jih program z uporabo posebnih algoritmov, modelov ali posebnimi postopki obdelave (kombinacija opazovanj) skuša čim bolj razrešiti, če je to mogoče. To so:

- $I_{A,\varphi}^i$ – vpliv ionosferske refrakcije, ki se pojavi na 13 km atmosfere in ima povsod enake lastnosti. Podnevi je, zaradi posledic učinka fotoefekta debelejša, in ima tako večji vpliv kot ponoči. Vpliv ionosferske refrakcije odpravimo s tvorjenjem ionosfersko neobčutljive linearne kombinacije opazovanj L3, ki jo dobimo kot linearno kombinacijo L1 in L2 opazovanj. Vpliv ionosferske refrakcije med meritvami zmanjšamo tako, da minimalni višinski kot nastavimo nad 15° .
- T_A^i – vpliv troposferske refrakcije. Troposferska refrakcija vpliva v pasu »vremena«, od približno 9 do 13 kilometrov. Na velikost vpliva troposferske refrakcije vplivajo vremenski pogoji (tlak, vlažnost in temperatura). Vpliva troposferske refrakcije ne moremo odpraviti z linearno kombinacijo opazovanj, temveč ga odpravimo z različnimi modeli, pri katerih se izračuna podaljšanje valovanja zaradi vpliva troposferske refrakcije. Uporabljeni model v našem primeru je bil Hopfieldov model. Vpliv troposferske refrakcije med meritvami zmanjšamo tako, da minimalni višinski kot nastavimo nad 15° .
- ρ_A^i – večpotje (angl. »Multi path«) v primeru, da točka leži zelo blizu stene oz. strehe in tako lahko pride do pojava odboja GNSS-signalov (sprejemnik dobi signal po večih poteh oz. v večih odbojih). Vpliv pogreška večpotja je vezan na določen časovni interval (okoli 20 minut), ker pa so bila opazovanja v našem primeru daljša, lahko ta vpliv zanemarimo.
- ε_φ – ostali pogreški [6]

V enačbi f predstavlja frekvenco opazovanja, c hitrost svetlobe v vakuumu, oznaka $\rho_A^i(t)$ predstavlja geometrično radaljo med satelitom in sprejemnikom, dt so pogreški ur satelitov in sprejemnikov, $N_k^P(l)$ je predstavljena značilna neznanka faznih opazovanj GPS, to je neznanost števila celih valov, v začetnem trenutku opazovanj ali fazna nedoločena.

Nekatere pogreške odpravimo s posebnim načinom obdelave opazovanj, ko opazovanja, pridobljena z dvema instrumentoma GNSS, s katerima smo opazovali istočasno na dve točkah, odštevamo. Tako

pridobimo enojno, dvojno in trojno fazno razliko. Pogreške ur satelitov odpravimo z enojno, sprejemnikov z dvojno fazno razliko. Če pa sta instrumenta dovolj blizu skupaj (predpostavimo da so meteorološki podatki enaki na obeh stojiščih), pa lahko izločimo vpliv troposferske refrakcije in odpravimo vpliv nenatančnosti efemerid. Na koncu tvorimo še trojne fazne razlike, kar storimo tako, da tvorimo dvojne fazne razlike in jih med seboj odštejemo. To storimo tako, da z dvema instrumentoma istočasno opazujemo dva satelita. Odstranimo vse prej že omenjene pogreške, prav tako pa v enačbi ne nastopa več neznano število celih valov. Vsi zgoraj opisani postopki so se vršili v programskem paketu obdelave baznih vektorjev, ki nam ga nudi program Leica Geo Office. [6]

4.1 Opis cenilk kakovosti vektorjev

- Določitev fazne nedoločenosti v začetnem trenutku opazovanj, ki mora biti celo število (angl. Phase fixed)
- GDOP (angl. Geometric Dilution of Precision) – merilo kakovosti razporeditve satelitov glede na sprejemnik. Manjši kot je GDOP, boljše geometrijo tvorijo sateliti. To posledično pomeni boljše določitev položaja točke
- PDOP (angl. Position Dilution of Precision) – merilo kakovosti določitve položaja. Nižja kot je vrednost natančnejša je določitev položaja
- HDOP (angl. Horizontal Dilution of Precision) – merilo kakovosti določitve horizontalnega položaja
- VDOP (angl. Vertical Dilution of Precision) – merilo kakovosti določitve višine [6]

Cenilke, s katerimi opisujemo geometrijsko razporeditev satelitov glede na opazovališče, naj bi načeloma imele čim nižje vrednosti. Vrednost cenilke PDOP, ki je nad 6, pomeni, da je obravnavani položaj potrebno obravnavati bolj previdno oziroma ga sploh ne uporabiti. Na vse cenilke kakovosti vektorjev smo bili pozorni tako pri obdelavi podatkov pridobljenih z opazovanji s statično metodo GNSS izmere, kot tudi pri obdelavi podatkov pridobljenih z opazovanji z RTK-GPS metodo izmere.

4.2 Rezultati obdelave

Programski paketi nam v prvi fazi obdelave podajo kot rezultat

- komponente baznih vektorjev ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) ali ($\Delta N, \Delta E, \Delta U$)
- variančno-kovariančne matrike za obdelane vektorje
- referenčne variance aposteriori [6]






Po končani obdelavi GNSS-vektorja sledi še izravnava mreže GNSS. Vhodni podatki za izravnavo so rezultati obdelave baznih vektorjev, torej:

- komponente baznih vektorjev
- variančno-kovariančne matrike za obdelane vektorje
- dane točke v GNSS koordinatnem sistemu [6]

V našem primeru je sledila izravnava mreže z eno dano točko. Program mrežo izravna s posredno izravnavo zato, da lahko z ustreznimi testi iskanja grobih pogreškov (Tau-test) določi grobo pogrešena opazovanja. Za izravnavo mreže GNSS je značilno, da globalni test modela velikokrat ni sprejet, saj nam algoritem obdelave preoptimistično določi variančno-kovariančne matrike komponent vektorjev. [6]

Za odkrivanje grobo pogrešenih opazovanj uporabimo dve metodi:

- pregled opazovanj (ang. data-snooping)
- τ -test: vrednost, ki je pri τ -testu ne smemo preseči, izhaja iz tabel in je odvisna od prostostnih stopenj in izbrane stopnje značilnosti testa. Kot je razvidno na sliki 4, je bila vrednost presežena pri dveh vektorjih. Če je mogoče, take vektorje odstranimo iz mreže in ponovimo izravnavo. [6]

Testing and Estimated Errors							
Observation Tests							
	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX	TG00	TF01	0.0081 m	7	9.6	0.36	0.30
DY			0.0056 m	9	9.0	0.31	
DZ			0.0151 m	10	8.2	0.12	
DX	TE00	TH00	0.0029 m	23	4.9	-0.71	0.40
DY			0.0021 m	24	4.9	-0.13	
DZ			0.0031 m	27	4.7	1.09	
DX	TE00	TF01	0.0072 m	22	4.7	0.15	2.46 
DY			0.0054 m	38	3.6	-0.81	
DZ			0.0112 m	47	3.2	-2.29 	
DX	TE00	TD00	0.0028 m	37	3.8	0.64	0.25
DY			0.0020 m	35	3.8	0.43	
DZ			0.0031 m	31	4.1	-0.44	
DX	TD00	TH00	0.0029 m	43	3.2	0.71	0.40
DY			0.0021 m	43	3.2	0.13	
DZ			0.0031 m	43	3.2	-1.09	
DX	GSR1	TG00	0.0081 m	73	1.7	0.36	0.30
DY			0.0056 m	69	2.0	0.31	
DZ			0.0151 m	74	1.8	0.12	
DX	GSR1	TF01	0.0065 m	49	2.9	-0.42	1.78
DY			0.0047 m	50	2.9	0.44	
DZ			0.0110 m	53	2.6	2.17 	
DX	GSR1	TD00	0.0072 m	42	4.1	0.15	2.46 
DY			0.0054 m	28	4.3	-0.81	
DZ			0.0112 m	12	7.2	-2.29 	

Slika 4: Rezultati τ -testa v programu Leica Geo Office

Rezultat izravnavе GNSS-mreže nam predstavljajo:

- koordinate novih točk, pridobljene s hitro statično metodo izmere v koordinatnem sistemu ETRS89

Preglednica 1: Prikaz izravnanih koordinat v programu Leica Geo Office – ETRS89

Točka	φ	λ	h [m]
E	45°57'54.78194" S	14°23'18.97541" V	354,5816
F	45°57'54.22112" S	14°23'19.81907" V	357,4756
G	45°57'53.30612" S	14°23'18.80062" V	366,7087
H	45°57'53.35947" S	14°23'21.11499" V	358,8443
I	45°57'52.09655" S	14°23'24.35423" V	355,2230

- koordinate novih točk, pridobljene s hitro statično metodo izmere v koordinatnem sistemu D96/TM

Preglednica 2: Prikaz izravnanih koordinat v programu Leica Geo Office – D96/TM

Točka	e	n	H [m] (model geoida)
E	452614,371	91892,302	308,088
F	452632,401	91874,872	310,982
G	452610,258	91846,792	320,214
H	452660,850	91848,052	312,350
I	452729,536	91808,534	308,728

- koordinate novih točk, pridobljene z RTK-GPS metodo izmere v koordinatnem sistemu D96/TM

Preglednica 3: Prikaz koordinat pridobljenih pri RTK-GPS izmeri – D96/TM

Točka	e	n	H [m] (model geoida)
E	452614,365	91892,309	308,069
F	452632,401	91874,841	310,936
G	452610,244	91846,796	320,263
H	452660,102	91848,066	312,371
I	452729,525	91808,529	308,787

- prikaz natančnosti določitve položajev novih točk, ki jih ponazorimo s standardnimi elipsami pogreškov

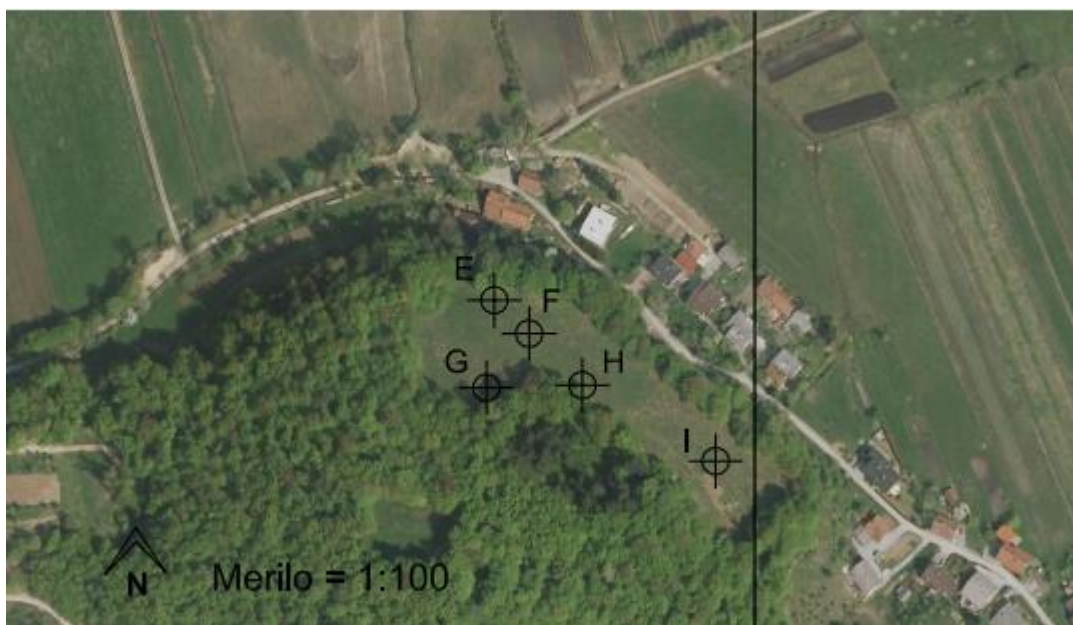
Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)					
Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
GSR1	0.0000	0.0000	1.0	90°	0.0000
TD00	0.0011	0.0008	1.3	-14°	0.0020
TE00	0.0011	0.0009	1.3	-14°	0.0021
TF01	0.0014	0.0008	1.8	-9°	0.0022
TG00	0.0017	0.0009	1.8	-3°	0.0028
TH00	0.0011	0.0009	1.3	-13°	0.0022

Slika 5: Parametri standardnih elips pogreškov v programu Leica Geo Office

5 DELO NA TERENU – ZAKOLIČBA S POLARNO METODO

Izmero na terenu smo opravljali v torek, 14.1.2014, na travniku nad vasjo Prevalje pod Krimom.

Na travniku smo vzpostavili geodetsko mrežo šestih točk (položaj točke F je podan z geografskima koordinatama geografskima koordinatama $\varphi = 45^{\circ}57'54.22112''S$; $\lambda = 14^{\circ}23'19.81907''V$) (Slika 6).



Slika 6: Točke geodetske mreže

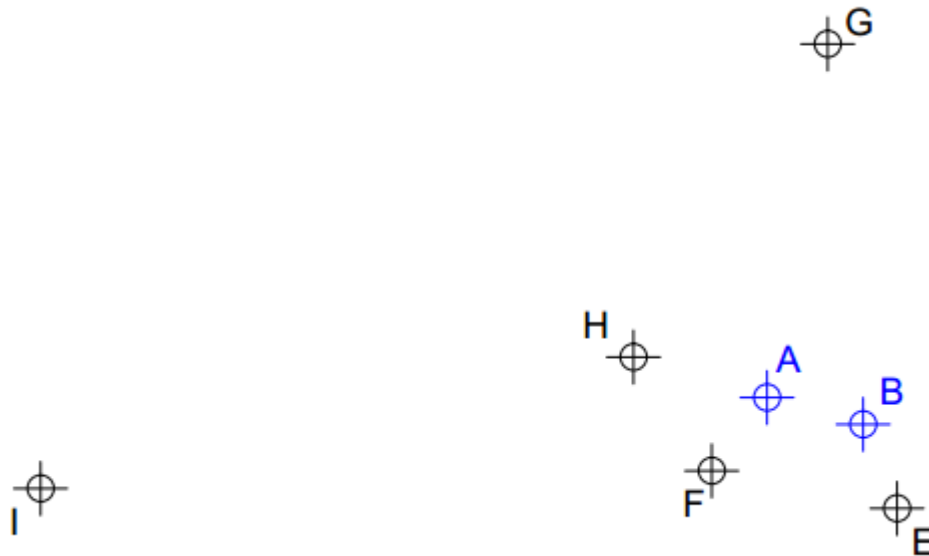
Horizontalne dolžine med danimi točkami so predstavljene v spodnji preglednici. Horizontalne dolžine so izračunane na podlagi koordinat, pridobljenih pri opazovanju točk s hitro statično metodo izmere.

Preglednica 4: Horizontalna dolžina med danimi točkami

Točki	Dolžina [m]
E-F	25,078
E-G	45,695
E-H	64,174
E-I	142,408
F-G	35,760
F-H	39,098
F-I	117,626
G-H	50,608
G-I	125,263
H-I	79,243

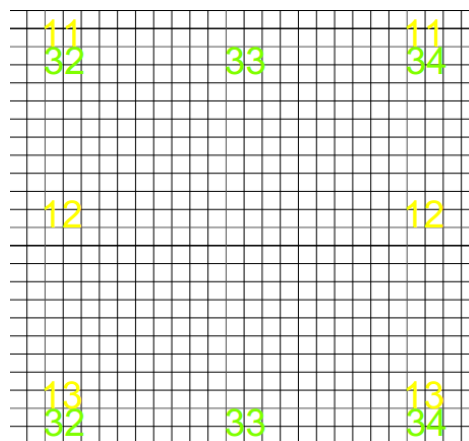
5.1 Potek dela

Na terenu smo določili dve novi točki, kateri smo nato s polarno metodo zakoličili s treh različnih stojišč (točke s slike 6) in z uporabo različnih orientacij (točke s slike 6). Položaj zakoličevanih točk je prikazan na spodnji sliki, kjer sta zakoličevani točki označeni z modro barvo. (slika 7). Položaj zakoličevanih točk je prikazan le shematično, saj je prikaz na sliki 6 nekoliko nepregleden.



Slika 7: Dane točke (E,F,G,H,I) in zakoličevani točki (A,B)

Novi točki (označeni z A in B) smo stabilizirali z lesenima količkoma, na vrhu katerih je bil prilepljen milimeterski papir, del katerega je prikazan na sliki 7. Številke, napisane z zeleno barvo, predstavljajo premik po milimeterskem papirju v horizontalni smeri (dejansko: os *E* (angl. Easting)) in so napisane na vsakih 10 mm oziroma na vsakih 10 kvadratkov. Številke, napisane z rumeno barvo, pa predstavljajo premik po milimeterskem papirju v vertikalni smeri (dejansko: os *N* (angl. Northing)) in so prav tako napisane na vsakih 10 mm oziroma na vsakih 10 kvadratkov.



Slika 8: Milimeterski papir

Zakoličevanje je potekalo tako, da je en operater delal z instrumentom, drugi pa je držal mini prizmo na zakoličevani točki ter jo po napotkih operaterja za instrumentom prestavljal na zakoličeni položaj. Ko je bila mini prizma postavljena na pravilni položaj, smo odčitali vrednost na milimeterskem papirju ter jo zabeležili.

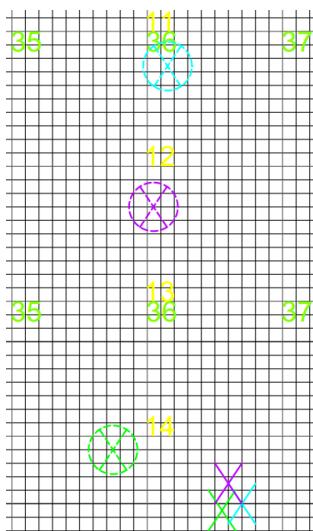
Spreminjanje položaja zakoličevane točke z različnih stojišč in z uporabo različnih orientacij je prikazano na spodnjih slikah.

Orientacije in njihove oznake, ki smo jih uporabili na posameznem stojišču:

Statika orientacija E -	×
Statika orientacija F -	×
Statika orientacija G -	×
Statika orientacija H -	×
Statika orientacija i -	×
RTK orientacija E -	⊗
RTK orientacija F -	⊗
RTK orientacija G -	⊗
RTK orientacija H -	⊗
RTK orientacija I -	⊗

Slika 9: Legenda simbolov, uporabljenih za prikaz sprememb položaja zakoličevanih točk

- Stojišče na točki E: orientacije na točke H, F, G

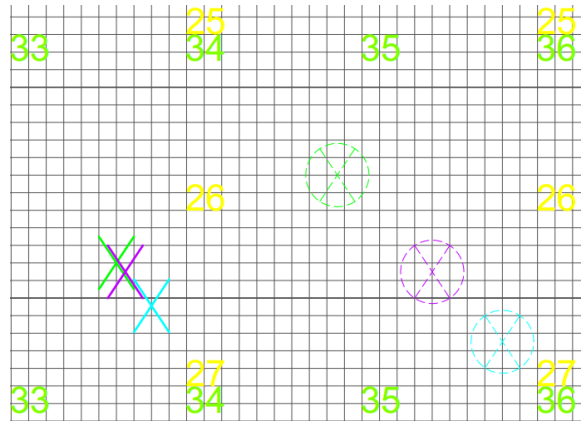


Slika 10: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke E

Na sliki 9 lahko opazimo spremembo položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke E, ki sta med seboj oddaljeni 25,15 metra. Križci prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke A ob uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, medtem ko črtkasti križci obkroženi s črtkastim krogom prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke A ob uporabi koordinat, določenih z RTK-GPS metodo. Svetlo modra barva prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke G, zelena barva prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke H, vijolična barva pa prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke F.

S slike 9 je razvidno, da so položaji zakoličevane točke A, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk, določenih s hitro statično izmero, tesno skupaj. Absolutno odstopanje tako v osi *E* kot tudi v osi *N*, znaša okoli 2 milimetra. Medtem ko so položaji zakoličevane točke A, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk, določenih z RTK-GPS izmero, mnogo bolj razpršeni. Maksimalno odstopanje v osi *E* znaša okoli 5 milimetrov, v osi *N* pa malo manj kot 3 centimetre.

Prav tako lahko razberemo, da so velika tudi odstopanja med položajem zakoličevane točke ob uporabi iste orientacije, vendar enkrat uporabimo koordinate, določene z RTK-GPS metodo, enkrat pa koordinate, določene s hitro statično metodo izmere. Maksimalna odstopanja v osi *E* znašajo okoli 1 centimeter, v osi *N* pa več kot 3 centimetre.



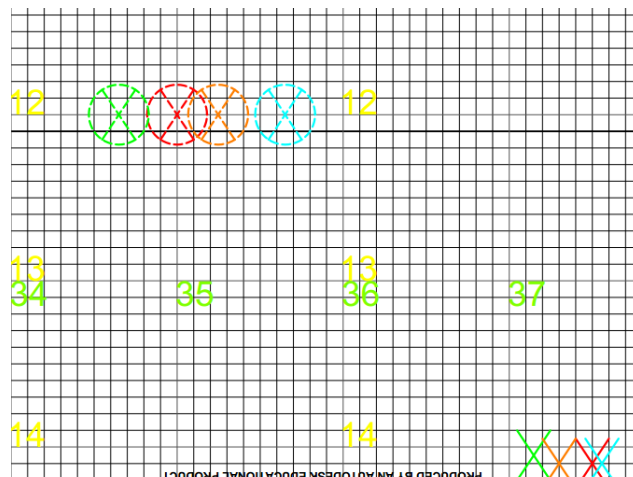
Slika 11: Sprememba položaja zakoličevane točke B s stojiščne točke E

Slika 10 prikazuje spremembo položaja zakoličevane točke B s stojiščne točke E, ki sta med seboj oddaljeni 10,78 metra. Križci prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke B ob uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, medtem ko črtkasti križci obkroženi s črtkastim krogom prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke B ob uporabi koordinat, določenih z RTK-GPS metodo. Svetlo modra barva prikazuje položaj točke B ob uporabi orientacijske točke G, zelena barva prikazuje položaj točke B ob uporabi orientacijske točke H, vijolična barva pa prikazuje položaj točke B ob uporabi orientacijske točke F.

Tudi tu se vidi, da so položaji zakoličevane točke B, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk, določene s hitro statično izmero, tesno skupaj. Maksimalno odstopanje tako v osi *E* kot tudi v osi *N*, znaša okoli 2 milimetra. Položaji zakoličevane točke B, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk, določenih z RTK-GPS izmero, so mnogo bolj razpršeni, vendar manj kot pri zakoličevanju točke A z istega stojišča. Za razliko od slike 8, kjer je bilo absolutno odstopanje veliko večje v osi *N*, pa je na sliki 9 absolutno odstopanje v obeh smereh osi približno enako in znaša okoli 1 centimeter.

Prav tako lahko s slike 11 vidimo, da so tako kot v prejšnjem primeru velika tudi odstopanja med položajem zakoličevane točke ob uporabi iste orientacije, vendar enkrat uporabimo koordinate, določene z RTK-GPS metodo, enkrat pa koordinate, določene s hitro statično metodo izmere. Največje odstopanje v osi *E* znaša okoli 2 centimetra, v osi *N* pa okoli 0,5 centimetra.

- Stojišče na točki F: orientacije na točke I, H, G, E

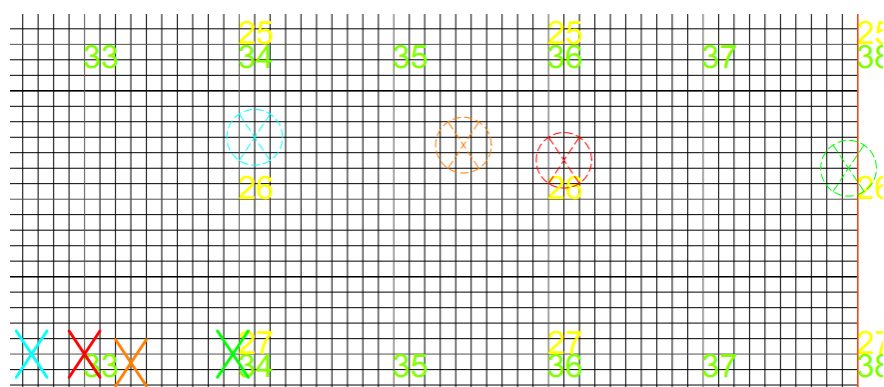


Slika 12: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke F

Slika 12 prikazuje spremembo položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke F, ki sta med seboj oddaljeni 4,94 metra. Križci prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke A ob uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, medtem ko črtkasti križci obkroženi s črtkastim krogom prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke A ob uporabi koordinat, določenih z RTK-GPS metodo. Svetlo modra barva prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke G, zelena barva prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke H, rdeča barva prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke I, oranžna barva pa prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke E.

Na sliki vidimo, da so si enako kot na prejšnjih dveh slikah položaji zakoličevane točke A, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk, določene s hitro statično izmero, tesno skupaj. Maksimalno odstopanje v osi *E* znaša okoli 0,5 centimetra, v osi *N* pa le 0,5 milimetra. Razlika glede na prejšnji dve sliki je v položajih zakoličevane točke A, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk, določenih z RTK-GPS, saj so tudi ti precej bolj skupaj kot v prejšnjih dveh primerih. Absolutno odstopanje v smeri *E* znaša okoli 1 centimeter, v smeri *N* pa položaji zakoličevane točke med seboj praktično ne odstopajo.

Še vedno pa so velika odstopanja med položajem zakoličevane točke ob uporabi iste orientacije, vendar enkrat uporabimo koordinate, določene z RTK-GPS metodo, enkrat pa koordinate določene s hitro statično metodo izmere. Maksimalno odstopanje v osi *E* znaša okoli 2,5 centimetra, v osi *N* pa okoli 2 centimetra.



Slika 13: Sprememba položaja zakoličevane točke B s stojiščne točke F

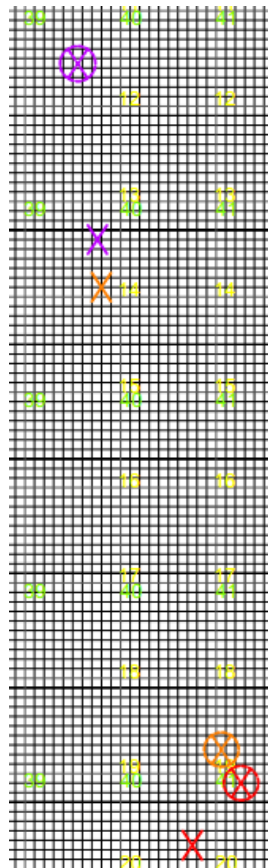
Slika 12 prikazuje spremembo položaja zakoličevane točke B s stojiščne točke F, ki sta med seboj oddaljeni 15,97 metra. Križci prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke B ob uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, medtem ko črtkasti križci obkroženi s črtkastim krogom prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke B ob uporabi koordinat, določenih z RTK-GPS metodo. Svetlo modra barva prikazuje položaj točke B ob uporabi orientacijske točke G, zelena barva prikazuje položaj točke B ob uporabi orientacijske točke H, rdeča barva prikazuje položaj točke B ob uporabi orientacijske točke I, oranžna barva pa prikazuje položaj točke B ob uporabi orientacijske točke E.

Na sliki lahko vidimo, da so položaji zakoličevane točke B, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk, določenih s hitro statično izmero, tako kot v vseh prejšnjih primerih bližje kot položaji zakoličevane točke B, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk, določenih z RTK-GPS. S slike lahko razberemo, da se položaji točke B ob uporabi koordinat orientacijskih točk hitre

statične izmere nahajajo na večjem območju (gleđamo os *E*) glede na prejšnje primere. Maksimalno odstopanje v osi *E* znaša okoli 1,5 centimetra, v osi *N* pa zgolj okoli 0,5 milimetra. Medtem ko so položaji točke B, kjer smo uporabili koordinate orientacijskih točk iz RTK-GPS metode, ponovno razpršeni, podobno kot v prejšnjih primerih. Absolutno odstopanje v osi *E* znaša okoli 4 centimetre, v osi *N* pa okoli 2 milimetra.

Še vedno vidimo velika odstopanja med položajem zakoličevane točke ob uporabi iste orientacije, vendar enkrat z uporabo koordinate, določene z RTK-GPS metodo, enkrat pa koordinate, določene s hitro statično metodo izmere. Največje odstopanje v osi *E* znaša okoli 4 centimetre, v osi *N* pa okoli 1,5 centimetra.

- Stojišče na točki H: orientacija na točke I, F, E



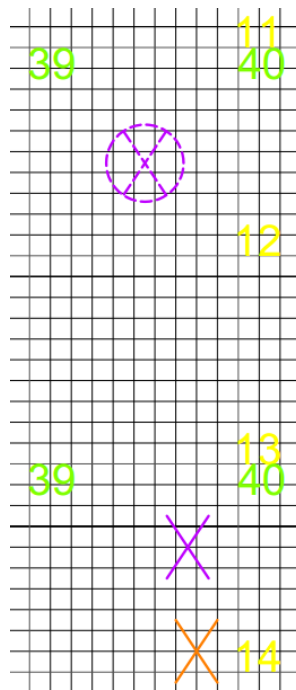
Slika 14: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke H

Slika 13 prikazuje spremembo položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke H, ki sta med seboj oddaljeni 39,88 metra. Križci prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke A ob uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, medtem ko črtkasti križci obkroženi s črtkastim krogom prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke A ob uporabi koordinat, določenih z RTK-GPS metodo. Rdeča barva prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke I, oranžna barva pa prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke E, vijolična barva pa prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke F.

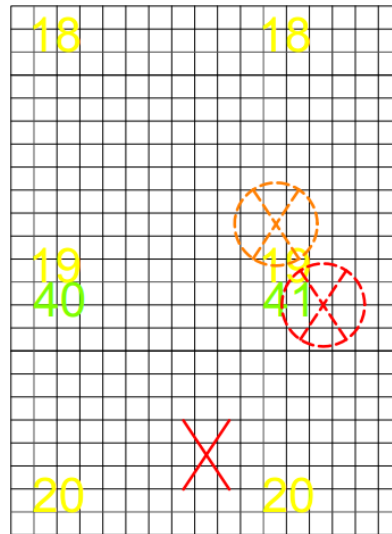
Na sliki vidimo, so položaji zakoličevane točke razpršeni na velikem območju ne glede na to, katere koordinate orientacijskih točk smo uporabili. Pri uporabi koordinat orientacijskih točk, določenih s

hitro statično izmero, sta položaja točke A določena z uporabo orientacijskih smeri na točki E in I skupaj, medtem ko položaj točke A, določen ob uporabi orientacijske smeri na točko F, močno odstopa. Maksimalno odstopanje v osi *E* znaša okoli 1 centimetra, v osi *N* pa kar več kot 6 centimetrov.

Podobna situacija je tudi pri uporabi koordinat orientacijskih točk, določenih z RTK-GPS izmero. Pri uporabi koordinat orientacijskih točk, določenih RTK-GPS izmero, sta položaja točke A, določena z uporabo orientacijskih smeri na točkah E in F skupaj, medtem ko položaj točke A, določen ob uporabi orientacijske smeri na točko I močno odstopa. Absolutno odstopanje v osi *E* znaša okoli 1,5 centimetra, v osi *N* pa skoraj 8 centimetrov.

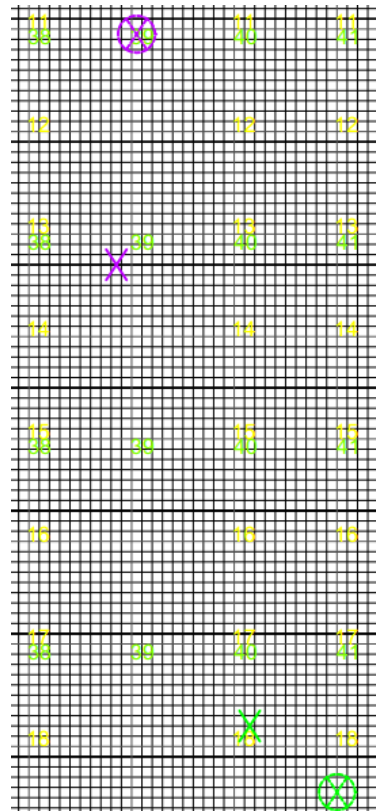


Slika 15: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke H – povečan prikaz zgornjega dela



Slika 16: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke H - povečan prikaz spodnjega dela

- Stojišče na točki I: orientaciji na točki H, F

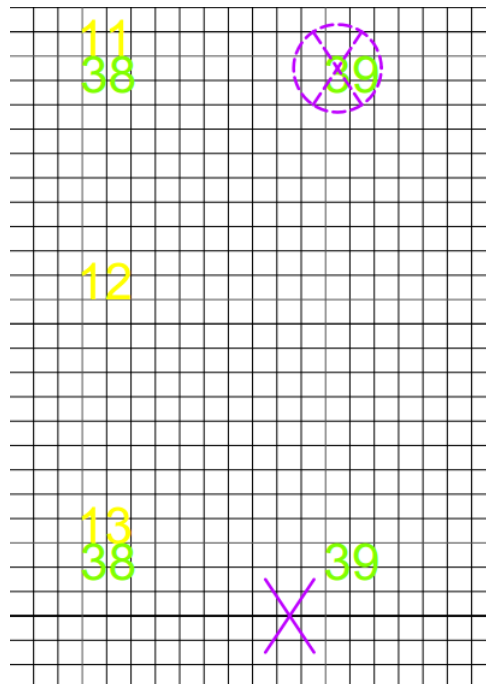


Slika 17: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke I

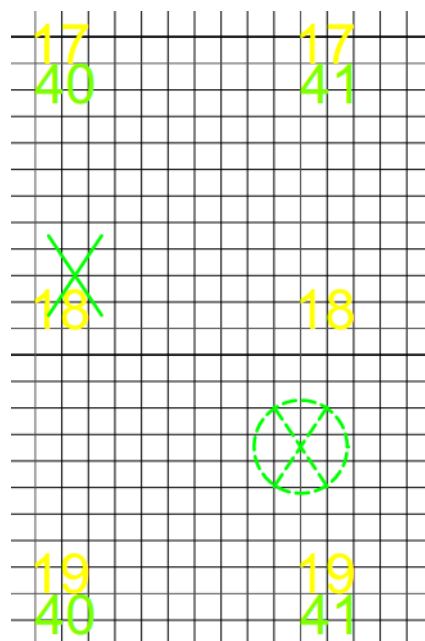
Slika 16 prikazuje spremembo položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke I, ki sta med seboj oddaljeni 118,96 metra. Križci prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke A ob uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, medtem ko črtkasti križci obkroženi s črtkastim krogom prikazujejo spremembo položaja zakoličevane točke A ob uporabi koordinat, določenih z

RTK-GPS metodo. Zelena barva prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke H, vijolična barva pa prikazuje položaj točke A ob uporabi orientacijske točke F.

Kot vidimo s slike 16, je situacija v zgornjem primeru najslabša. V tem primeru položaja točke A, določena z uporabo orientacijskih točk, določenih s hitro statično in RTK-GPS metodo izmere, močno odstopata med seboj. Pri uporabi orientacijskih točk, določenih s hitro statično izmero maksimalno odstopanje v osi E znaša dober centimeter, v osi N pa okoli 4,5 centimetra. Pri uporabi orientacijskih točk, določenih z RTK-GPS metodo izmere, pa absolutno odstopanje v osi E znaša okoli 2 centimetra, v osi N pa več kot 7 centimetrov.



Slika 18: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke I - povečan prikaz zgornjega dela



Slika 19: Sprememba položaja zakoličevane točke A s stojiščne točke I - povečan prikaz spodnjega dela

6 ZAKLJUČEK

Iz opisanih primerov bi lahko potrdili hipotezo 1, da je zakoličba točke, kjer so orientacijske točke določene z RTK-GPS metodo izmere, slabša kot v primeru, da so orientacijske točke določene s hitro statično metodo izmere. Na predstavljenih slikah (od 8 do 19) je razvidno, da se položaj zakoličevane točke bolj spreminja, kadar uporabimo orientacijske točke, določene z RTK-GPS metodo izmere.

Na slikah (od 8 do 19) lahko vidimo, da so položaji zakoličene točke ob uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, tesneje skupaj, kot pa položaji zakoličene točke ob uporabi koordinat, določenih z RTK-GPS metodo izmere. Maksimalno odstopanje ob uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, je v osi *E* okoli 1,5 centimetra, v osi *N* pa zgolj okoli 2 milimetra. Medtem ko ob uporabi koordinat, določenih z RTK-GPS metodo izmere absolutno odstopanje v osi *E* znaša okoli 4 centimetre, v osi *N* pa okoli 3 centimetre.

Potrebno pa je omeniti tudi situaciji, ki se pojavita ob zakoličevanju točke *A* s stojiščnih točk *H* in *I* (sliki 16 in 17), kjer pri uporabi koordinat, določenih s hitro statično metodo izmere, odstopanje v osi *E* znaša okoli 1 centimeter, v osi *N* pa več kot 6 centimetrov. Situacija je še slabša ob uporabi koordinat, določenih z RTK-GPS metodo izmere, kjer odstopanje v osi *E* znaša okoli 2 centimetra, v osi *N* pa kar 8 centimetrov. Pri zakoličevanju točke z omenjenih stojišč je v postopku zakoličevanja najverjetneje prišlo do napake (slabo centriranje ali horizontiranje instrumenta, slabo viziranje orientacijske točke ali pa je bil položaj točke v koordinatni mreži slabše določen).

Na podlagi rezultatov lahko potrdimo prvo hipotezo, da je za vzpostavitev geodetske mreže s hitro statično metodo GNSS primernejša kot RTK-GPS metoda izmere. Ob uporabi statične metode pri vzpostavitvi geodetske mreže smo dosegli še večjo natančnost zakoličbe v absolutnem smislu.

V diplomski nalogi smo želeli pokazati tudi vpliv oddaljenosti orientacijske točke na natančnost zakoličbe. Želeli smo pokazati, da daljša orientacija pomeni boljšo natančnost zakoličbe (druga hipoteza), vendar pa nam to v celoti ni uspelo. Na sliki 17, kjer smo zakoličevali točko *A* s stojiščne točke *I* in so bile tako orientacije najdaljše, je vidno, da je odstopanje med zakoličenimi položaji točke največje. Omenjena situacija je lahko posledica napak operaterja (slabo centriranje ali horizontiranje instrumenta, slabo viziranje orientacijske točke) ali pa figuranta (nevertikalno držanje prizme, premik prizme v napačno smer).

VIRI

- [1] Geodetska uprava Republike Slovenije. 2007. Tehnično navodilo za uporabo novega koordinatnega sistema v zemljiškem katastru. Različica 1.0, 29.
http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/ogs/razlicica1_0.doc.
(Pridobljeno 14.07.2014)
- [2] Goleš, M., Kuhar, M. 2008. GPS-višinomerstvo s pomočjo RTK-metode izmere. Geod vestn. 52, 330-331.
http://www.geodetski-vestnik.com/52/2/gv52-2_329-338.pdf (Pridobljeno 09.07.2014)
- [3] Kogoj, D., Stopar, B. 2013. Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke, 4; 23-24.
http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/GEODETSKA_IZMERA.pdf (Pridobljeno 09.07.2014)
- [4] Koler, B. 2014. Predavanja pri predmetu Geodezija v inženirstvu.
- [5] Lisec, A., Koler, B., Kuhar, M. 2004. Analiza vpliva težnostnega polja na določitev višinskih točk v različnih višinskih sistemih, 33.
http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Lisec_et_al.pdf
(Pridobljeno 09.07.2014)
- [6] Pavlovčič Prešeren, P. 2013. Vaje pri predmetu GNSS v geodeziji.
- [7] Stopar, B. 2013. Predavanja pri predmetu GNSS v geodeziji.
- [8] Štebe, G. 2012. Vaje pri predmetu Detajlna izmera.