

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:

Rebernik, S., 2015. Geodetske meritve pri gradnji mikropredorov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Ambrožič, T., somentor Kogoj, D.): 47 str.

Datum arhiviranja: 02-06-2015

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:

Rebernik, A., 2015. Geodetske meritve pri gradnji mikropredorov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Ambrožič, T., co-supervisor Kogoj, D.): 40 p.

Archiving Date: 02-06-2015

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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE TEHNIČNO  
UPRAVLJANJE  
NEPREMIČNIN**

Kandidat:

**SAMO REBERNIK**

**GEODETSKE MERITVE PRI GRADNJI  
MIKROPREDOROV**

Diplomska naloga št.: 40/TUN

**GEODETTIC MEASUREMENTS IN THE  
CONSTRUCTION OF MICROTUNNELS**

Graduation thesis No.: 40/TUN

**Mentor:**

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

**Predsednik komisije:**

**Somentor:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 27. 05. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

**IZJAVE**

Podpisani Samo Rebernik izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Geodetske meritve pri gradnji mikropredorov«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 06. 05. 2015

Samo Rebernik

## **BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>528.48:624.19(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Samo Rebernik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič</b>
<b>Somentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Dušan Kogoj</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Geodetske meritve pri gradnji mikropredorov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>47 str., 6 pregl., 40 sl., 3 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Mikropredor, vrtni stroj za gradnjo mikropredorov, kontrolne geodetske meritve, univerzalni navigacijski sistem vrtalnega stroja</b>

### **Izveček**

V diplomskem nalogi je predstavljena tehnologija gradnje mikropredorov (mikrotuneliranje). Podrobneje je razložen postopek načrtovanja, vzpostavitve in izmere geodetske mreže, opisana je merska oprema in metoda izmere, predstavljen pa je tudi postopek kontrolnih geodetskih merjenj pred začetkom vrtanja, v fazi vrtanja in po zaključenem vrtanju. Ocenjena je natančnost kontrolnih geodetskih meritev v fazi vrtanja. Poseben poudarek je namenjen opisu praktičnega primera izvedbe geodetskih merjenj pri gradnji štirih mikropredorov. Ugotovljeno je, da smo lahko z razporeditvijo danih točk, izbrano mersko opremo in metodo dela zadostili zahtevam naročnika po natančnosti preboja vrtalnega stroja v izstopno gradbeno jamo. Natančnost preboja naj bi bila 500 mm ali manj.

---

**BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 528.48:624.19(043.2)  
**Author:** Samo Rebernik  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič, Ph.D.  
**Co-advisor:** Assoc. Prof. Dušan Kogoj, Ph.D.  
**Title:** Geodetic measurements in the construction of microtunnels  
**Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies  
**Scope and tools:** 47 p., 6 tab., 40 fig., 3 ann.  
**Keywords:** microtunnel, microtunnel boring machine, geodetic control surveys, universal navigation system of microtunnel boring machine

**Abstract**

The main goal of this thesis is to present the technology of building micro tunnels (microtunneling). The biggest emphasis is on describing practical geodetic surveys at building micro tunnels. Described in details are the processes of planning, putting up and measuring the geodetic network, as well as the procedures of geodetic control surveys before, during and after drilling. The accuracy of geodetic control surveys in the phase of drilling is assessed. The main focus of this thesis was to find out how accurate can we determine horizontal position of detailed points, depending on chosen work method, instruments and position of given points. The findings of this thesis suggest that with the correct layout of drilling points, specific measuring equipment and measuring method, the client's expectations about drilling accuracy can be met; namely the drilling exit point should be accurate to 500 mm compared to the planned exit point.

## **ZAHVALA**

Za strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču in somentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoju. Zahvaljujem se družini in vsem ostalim, ki so me podpirali v času študija. Posebna zahvala gre gospodu Francu Matku, direktorju podjetja Vizura Matko, prostorski inženiring, d.o.o., za izdatno pomoč in podporo med celotnim študijem.

**KAZALO VSEBINE**

<b>BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA .....</b>	<b>V</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 TEHNOLOGIJA GRADNJE MIKROPREDOROV (MIKROTUNELIRANJE).....</b>	<b>2</b>
2.1 Splošno o tehnologiji gradnje mikropredorov (mikrotuneliranju) .....	2
2.2 Sistem mikrotuneliranja .....	7
2.3 Prednosti in slabosti mikrotuneliranja.....	8
<b>3 NAVIGACIJSKI SISTEM VRTALNEGA STROJA.....</b>	<b>9</b>
3.1 Splošno o navigacijskih sistemih .....	9
3.2 Univerzalni navigacijski sistem vrtalnega stroja UNS.....	9
3.2.1 Elektronski laserski navigacijski sistem ELS .....	12
3.2.2 Elektronski laserski navigacijski sistem s hidrostatičnim vodnim izravnavanjem ELS-HWL.....	13
3.2.3 Girokopski navigacijski sistem GNS .....	14
<b>4 MOŽNE NAPAKE PRI DOLOČEVANJU POLOŽAJA VRTALNEGA STROJA Z NAVIGACIJSKIM SISTEMOM UNS .....</b>	<b>15</b>
4.1 Točnost določitve položaja vrtalnega stroja pred pričetkom vrtnja .....	15
4.2 Drsenje vrtalnega stroja .....	18
4.3 Napačno delovanje merilnega kolesa.....	20
<b>5 PRAKTIČEN PRIMER IZVEDBE KONTROLNIH GEODETSKIH MERITEV POLOŽAJA VRTALNEGA STROJA.....</b>	<b>21</b>
5.1 Splošno.....	21
5.2 Načrtovanje, vzpostavitev in izmera geodetske mreže .....	22
5.3 Merska oprema in metoda izmere .....	26
5.4 Kontrolne geodetske meritve pred pričetkom vrtnja .....	28



5.4.1	Določitev horizontalnega in vertikalnega odstopanja osi vrtnega stroja od projektirane osi vrtnja.....	29
5.4.2	Določitev prečnega, višinskega in vzdolžnega odstopanja položaja kontrolne točke vrtnega stroja od projektirane točke začetka vrtnja .....	30
5.4.3	Določitev kota zasuka .....	32
5.4.4	Vnos izmerjenih količin v navigacijski sistem vrtnega stroja .....	33
5.5	Kontrolna geodetska izmera v fazi vrtnja .....	34
5.5.1	Postopek izvajanja kontrolnih geodetskih meritev v fazi vrtnja.....	35
5.5.2	Ocena natančnosti kontrolnih geodetskih meritev v fazi vrtnja – mikropredor Zgornja Hudinja.....	39
5.6	Kontrolne geodetske meritve po zaključenem vrtnju.....	43
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>45</b>
<b>VIRI</b>	<b>.....</b>	<b>46</b>

---

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Analiza natančnosti opazovanj točk v ravninski geodetski mreži - mikropredor Zgornja Hudinja.....	25
Preglednica 2: Analiza natančnosti opazovanj točk v višinski geodetski mreži - mikropredor Zgornja Hudinja.....	25
Preglednica 3: Določitev vzdolžnega in prečnega pogreška z uporabo izravnave 15. kontrolne geodetske izmere.....	39
Preglednica 4: Analiza natančnosti meritev 15. kontrolne geodetske izmere - mikropredor Zgornja Hudinja.....	40
Preglednica 5: Določitev vzdolžnega in prečnega pogreška z uporabo enačb iz literature .....	42
Preglednica 6: Tehnični podatki izvedenih mikropredorov na trasi plinovoda M2/1 Rogaška Slatina – Trojane in M2/1 Trojane – Vodice .....	43

## KAZALO SLIK

Slika 1: Vrtalni stroj MTBM pred vgradnjo.....	2
Slika 2: Kontrolna kabina ob vstopni gradbeni jami.....	3
Slika 3: Reciklirna naprava.....	3
Slika 4: Računalniška konzola v kontrolni kabini.....	4
Slika 5: Potisne cevi.....	5
Slika 6: Glavna potisna enota s hidravličnimi dvigali (angl.: jacking frame).....	6
Slika 7: Vmesna potisna enota s hidravličnimi dvigali (angl.: interjack).....	6
Slika 8: Sistem mikrotuneliranja.....	7
Slika 9: Laser z lasersko tarčo.....	10
Slika 10: Merilno kolo.....	10
Slika 11: Referenčni modul, višinski senzor ter povezovalna cev med referenčnim in višinskim senzorjem.....	11
Slika 12: Girokompas.....	11
Slika 13: Elektronski laserski navigacijski sistem ELS.....	12
Slika 14: Elektronski laserski navigacijski sistem s hidrostatičnim vodnim izravnavanjem ELS-HWL .....	13
Slika 15: Girokopski navigacijski sistem GNS.....	14
Slika 16: Odklonski kot – yaw angle.....	16
Slika 17: Naklonski kot – pitch angle.....	16
Slika 18: Prikaz odstopanja vrtalnega stroja od projektiranje linije pri girokopskem navigacijskem sistemu GNS.....	17
Slika 19: Kot drsenja – drift angle.....	18
Slika 20: Izračun kota drsenja.....	19
Slika 21: Pravilno nameščeno merilno kolo.....	20
Slika 22: Shematski prikaz geodetske mreže.....	23
Slika 23: Betonski steber z nastavkom za prisilno centriranje – točka 5001.....	24
Slika 24: Način stabilizacije točk geodetske mreže.....	24
Slika 25: Tahimeter Leica TCRA 1103 +.....	26
Slika 26: Konzola za fiksiranje podnožja.....	27
Slika 27: Precizni reflektor GPR 121 s tarčo in podnožje z optičnim grezilom GDF 112.....	27
Slika 28: Osna šablona.....	28
Slika 29: Vodna tehtnica (libela) s pomočjo katere določimo horizontalno os valja.....	29
Slika 30: Merjenje horizontalnega in vertikalnega odstopanja vrtalnega stroja od projektirane osi vrtanja.....	30
Slika 31: Položaj kontrolne točke vrtalnega stroja.....	31

---

Slika 32: Odbojna nalepka na girokompasu .....	31
Slika 33: Položaj kontrolne točke vrtnega stroja pred pričetkom vrtanja – mikropredor Ločica .....	32
Slika 34: Kot zasuka – roll angle.....	32
Slika 35: Vnos začetnih vrednosti v navigacijski sistem vrtnega stroja .....	33
Slika 36: Shematski prikaz geodetskih točk med izvajanjem kontrolnih meritev .....	35
Slika 37: Merjenje horizontalne osi vgrajene potisne cevi .....	36
Slika 38: Izračun vertikalnega in horizontalnega odstopanja v programskem orodju UNStrans – mikropredor Šentožbolt.....	37
Slika 39: Vnos izmerjenih koordinat lokacije vrtnega stroja in kota drsenja v navigacijski sistem stroja UNS.....	38
Slika 40: Elipse pogreškov po izravnavi 15. kontrolne geodetske izmere – mikropredor Zgornja Hudinja.....	41
Slika 41: Preboj vrtnega stroja v izstopno gradbeno jamo – mikropredor Zgornja Hudinja .....	44

## **UPORABLJENE KRATICE**

MTBM – Microtunnel Boring Machine (vrtalni stroj za gradnjo mikropredorov)

UNS – Universal Navigation System (univerzalni navigacijski sistem)

ELS – Electronic Laser System (elektronski laserski navigacijski sistem)

ELS-HWL – Electronic Laser System – Hydrostatic Water Levelling (elektronski laserski navigacijski sistem s hidrostatičnim vodnim izravnavanjem)

GNS – Gyro Navigation System (giroskopski navigacijski sistem)

GNSS – Global Navigation Satellite System (globalni navigacijski satelitski sistem)

Ta stran je namenoma prazna.

## 1 UVOD

Klasična gradnja cevovodov z izkopi je zaradi konfiguracije terena, razvoja urbanega naselja in križanj predvidenega cevovoda z obstoječimi komunalnimi vodi, cestami, rekami in drugimi objekti, velikokrat onemogočena. V ta namen je bilo potrebno razviti tehnologijo, ki bi omogočala izgradnjo daljših cevovodov brez izkopov.

V diplomski nalogi je predstavljena tehnologija gradnje mikropredorov (mikrotuneliranje), kot ena izmed modernih tehnologij, namenjena izgradnji manjših predorov, kjer je potrebno izdelati cevovod brez izkopov. Poseben poudarek je namenjen stalnemu nadzoru položaja vrtnega stroja, saj lahko le tako zagotovimo, da vrtni stroj prispe na točno predvideno mesto. V ta namen ima vrtni stroj razvit učinkovit navigacijski sistem, ki sproti preverja smer in položaj vrtnega stroja. Ker pa na točnost navigacijskega sistema vrtnega stroja vpliva več dejavnikov, ki jih ni mogoče odpraviti, so za natančno določitev položaja vrtnega stroja med vrtnjem nujno potrebne vzporedne kontrolne geodetske meritve.

V nadaljevanju diplomske naloge je opisan praktičen primer izvedbe kontrolnih geodetskih meritev pri izgradnji štirih mikropredorov za potrebe izgradnje prenosnega plinovoda M2/1 Rogaška Slatina – Trojane in M2/1 Trojane – Vodice. Podrobneje je razložen postopek načrtovanja, vzpostavitve in izmere geodetske mreže, opisana je merska oprema in metoda izmere, predstavljen pa je tudi postopek kontrolnih geodetskih merenj pred začetkom vrtnja, v fazi vrtnja in po zaključenem vrtnju.

Ocenjena je tudi natančnost kontrolnih geodetskih meritev v fazi vrtnja. Zanimalo nas je, s kakšno natančnostjo lahko z izbrano metodo dela, uporabljenim instrumentarijem in razporeditvijo danih točk določimo horizontalni položaj detajlnih točk.

## 2 TEHNOLOGIJA GRADNJE MIKROPREDOROV (MIKROTUNELIRANJE)

### 2.1 Splošno o tehnologiji gradnje mikropredorov (mikrotuneliranju)

Kot pove ime, je mikrotuneliranje tehnologija namenjena gradnji manjših predorov (velikost preseka do 3800 milimetrov) pod cestami, železnicami, rekami, okoljsko občutljivimi območji ter povsod drugod, kjer je potrebno izdelati cevovod brez izkopov (Pipe Jacking & Microtunneling, 2014). Mikrotuneliranje se od klasične gradnje predorov loči predvsem po tem, da se pri tej tehnologiji uporablja daljinsko voden vrtni stroj (angl.: MTBM – Microtunnel Boring Machine) (Slika 1), ki ga iz kontrolne kabine (Slika 2), locirane poleg gradbene jame, nadzoruje in upravlja operater stroja. Operater v kontrolni kabini razpolaga z računalniško konzolo (Slika 4), ki mu preko preciznih nadzornih senzorjev omogoča stalno spremljanje vseh pomembnih parametrov o delu vrtnega stroja (MTBM) in ostalih hidravličnih sklopov. Preko računalniške konzole operater pridobi tudi podatke o sami lokaciji ter orientaciji vrtnega stroja. Na ta način operater precizno in varno upravlja ter nadzira vse faze vrtnja direktno iz kontrolne kabine (Mikro tuneliranje, 2014).



Slika 1: Vrtni stroj MTBM pred vgradnjo





Slika 2: Kontrolna kabina ob vstopni gradbeni jami



Slika 3: Reciklirna naprava



Slika 4: Računalniška konzola v kontrolni kabini (Mikro tuneliranje, 2014)

Večinoma se pri tehnologiji mikrotuneliranja uporablja metoda »Pipe jacking« (slov.: uvajanje cevi s potiskanjem), ki temelji na potiskanju niza posebnih potisnih cevi, na čelu katerega je vrtni stroj, proti izstopni gradbeni jami. Na začetku potisna enota s pomočjo hidravličnih dvigal, potisne vrtni stroj v smeri proti izstopni gradbeni jami. Ko je vrtni stroj potisnjen v celotni dolžini, se tik za njim vstavi prva potisna cev, ki se prav tako potisne v celotni dolžini. Za vsako potisnjeno cev se vstavi nova, nakar se izvede potisk celotne kompozicije. Postopek se ponavlja, dokler vrtni stroj ne doseže izstopne gradbene jame, kjer ga s pomočjo dvigala odstranimo in pripravimo za naslednji projekt (Pipe Jacking & Microtunneling, 2014).

Potisne cevi morajo zagotavljati odpornost na predvidene potisne sile, hkrati pa morajo omogočati spajanje brez izbočenih spojnih delov. Priporoča se uporaba potisnih cevi iz poliestra in armiranega betona, kot tudi keramičnih potisnih cevi, ki so bosebej primerne za kanalizacije (Mikro tuneliranje, 2014).

S povečevanjem dolžine predora se povečuje trenje okoli vgrajenih cevi, kar zahteva višje potisne sile. Za zmanjšanje trenja se uporabljata dva postopka (Mikro tuneliranje, 2014).

Prvi postopek se imenuje »rezanje preko predvidenega premera« in je uporaben predvsem v stabilnih materialih (npr. skala). S pomočjo posebnih rezalnih koles se izvrti vrtina, ki je nekoliko večja od

zunanjega premera cevi. S tem se okoli cevi ustvari vrzel oziroma praznina, ki onemogoča pretirano trenje (Mikro tuneliranje, 2014).

V nevezanih zemljinah z manjšo vsebnostjo veznih frakcij (npr. prodnata tla, pesek...) pa se v vrtalno vrzel vbrizgavajo ekološko prijazni vrtalni mulji, katerih osnova je mešanica bentonita in vode. Poleg tega, da omenjeni mulji zmanjšajo trenje okoli potisnih cevi, omogočajo kakovostnejši iznos izvrtanega materiala, tlak vbrizgavanja muljev pa pripomore k stabilizaciji vrtine ter preprečevanju njene zrušitve (Mikro tuneliranje, 2014).

Kljub temu, da lahko trenje znatno zmanjšamo, ga ne moremo povsem odpraviti. Za hkratno potiskanje kompozicije potisnih cevi in vrtalnega stroja je potrebna sila, ki znaša tudi nekaj MN. V ta namen je v vstopni gradbeni jami nameščena velika potisna enota (angl.: jacking frame), ki s pomočjo hidravličnih dvigal proizvede dovoljšnjo potisno silo. Ker se omenjena sila prenaša na stene gradbene jame, mora biti le-ta izdelana iz ojačanega armiranega betona (Mikro tuneliranje, 2014).

Pri daljših predorih se, v podporo glavni potisni enoti, vgradijo vmesne potisne enote (angl.: interjacks), ki pripomorejo k enostavnejšemu in uspešnejšemu potiskanju cevi na celotnem odseku (Mikro tuneliranje, 2014).

Transport izvrtanega materiala se vrši s pomočjo vrtalne tekočine, ki jo črpalke preko sklenjenega kroga transportnih cevi, vseskozi dovajajo in odvajajo iz izvrtine. Na Sliki 8 so z modro barvo označene dovodne transportne cevi, ki v izvrtino dovajajo svežo vrtalno tekočino. Z zelo barvo pa so označene odvodne transportne cevi, preko katerih se izvrtan material transportira do reciklirne naprave (glej Sliko 8), kjer se vrtalna tekočina prečisti za ponovno uporabo (Mikro tuneliranje, 2014).



Slika 5: Potisne cevi (HOBAS GRP pipe for jacking in Epping, 2009)



Slika 6: Glavna potisna enota s hidravličnimi dvigali (angl.: jacking frame)



Slika 7: Vmesna potisna enota s hidravličnimi dvigali (angl.: interjack)

## 2.2 Sistem mikrotuneliranja

Sistem mikrotuneliranja sestoji iz (Bricman, S., 2012):

1. kontrolne kabine,
2. reciklirne naprave,
3. dvigala,
4. dovodne črpalke,
5. električnega generatorja ali transformatorske postaje,
6. potisne enote,
7. vrtalne enote,
8. vodilne enote (služi usmerjanju vrtalne enote),
9. potisnih cevi,
10. navigacijske naprave,
11. odvodne črpalke.



Slika 8: Sistem mikrotuneliranja (Microtunneling Site Visit, 2013)

### 2.3 Prednosti in slabosti mikrotuneliranja

Kot vsak sistem ima tudi mikrotuneliranje svoje prednosti in slabosti.

#### Prednosti (Pipe jacking, 2014):

- + minimalni vplivi na okolje,
- + minimalni vplivi na obstoječo prometno infrastrukturo,
- + okolica skoraj ne čuti onesnaženja s hrupom in umazanijo,
- + odlična preglednost v smislu stroškov in časovne izvedbe,
- + izvedba mogoča v vseh vrstah zemljin,
- + minimalni zemeljski premiki.

#### Slabosti (Mikro tuneliranje, 2014):

- Visoki fiksni stroški izvedbe, ki so najbolj očitni zlasti pri krajših vrtinah.

### 3 NAVIGACIJSKI SISTEM VRTALNEGA STROJA

#### 3.1 Splošno o navigacijskih sistemih

Ena najpomembnejših dejavnosti pri mikrotuneliranju (še posebej pri daljših vrtinah) je stalen nadzor položaja vrtalnega stroja. Samo tako lahko namreč zagotovimo prihod vrtalnega stroja na natančno predvideno mesto v izstopni gradbeni jami (Jobsite Setup and Preparation for Pipe Jacking Works, 2010).

Pri metodi uvajanja cevi s potiskanjem (»Pipe jacking«) trajna stabilizacija fiksnih točk, ki bi jih uporabili pri izmeri položaja vrtalnega stroja, v predoru ni mogoča, saj se niz cevi med gradnjo stalno premika.

Posledično je bilo potrebno razviti učinkovit navigacijski sistem, ki lahko sproti preverja smer in položaj vrtalnega stroja. Samo tako je mogoče pravočasno odkriti morebitne deviacije od projektirane poti in jih s pomočjo kontrolnih cilindrov korigirati.

#### 3.2 Univerzalni navigacijski sistem vrtalnega stroja UNS

Podjetje Herrenknecht AG je za ugotavljanje položaja svojih vrtalnih strojev MTBM razvilo univerzalni modularni navigacijski sistem UNS (angl.: Universal Navigation System), ki sestoji iz naslednjih komponent (Operating Manual, 2010):

- laser,
- laserska tarča,
- merilno kolo,
- hidrostatično vodno izravnavanje z referenčnim in višinskim senzorjem,
- girokompas,
- računalniška konzola z ustrezno programsko opremo.

Različne kombinacije zgoraj naštetih komponent omogočajo tri navigacijske sisteme (Operating Manual, 2010):

- elektronski laserski navigacijski sistem ELS (angl.: Electronic Laser System),
- elektronski laserski navigacijski sistem s hidrostatičnim vodnim izravnavanjem ELS-HWL (angl.: Electronic Laser System – Hydrostatic Water Levelling),
- giroskopski navigacijski sistem GNS (angl.: Gyro Navigation System).



Slika 9: Laser (Geo laser, 2014) z lasersko tarčo (Operating Manual, 2010)



Slika 10: Merilno kolo (Operating Manual, 2010)





Slika 11: Referenčni modul, višinski senzor ter povezovalna cev med referenčnim in višinskim senzorjem (Operating Manual, 2010)



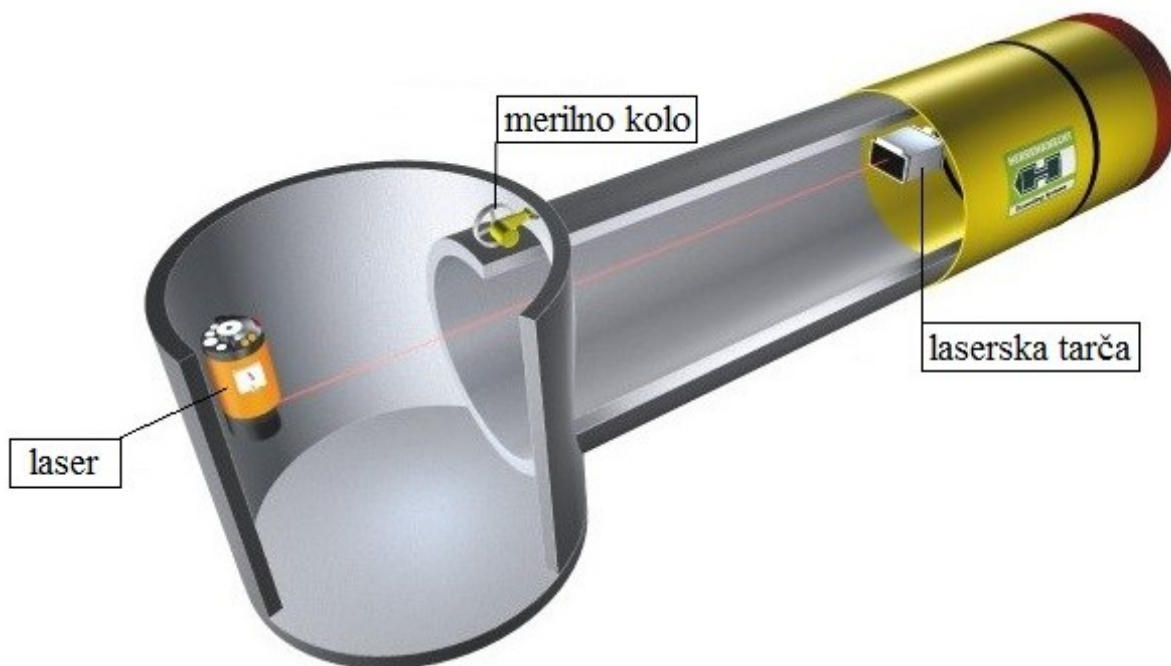
Slika 12: Girokompas (Operating Manual, 2010)

### 3.2.1 Elektronski laserski navigacijski sistem ELS

Elektronski laserski navigacijski sistem je primeren za izvedbo vrtin v ravnih linijah do dolžine okoli 200 metrov. Sistem omogoča sprotno ugotavljanje položaja in usmerjenosti vrtalnega stroja, in sicer s pomočjo laserskega žarka, ki je usmerjen na lasersko tarčo nameščeno na vrtalnem stroju. Na podlagi mesta, kjer laserska svetloba zadane svetlobni senzor tarče, se izračuna horizontalni položaj in usmerjenost vrtalnega stroja, ki se sproti prikazuje na ekranu računalnika v kontrolni kabini (ELS Electronic Laser system, 2014).

Elektronski laserski navigacijski sistem ELS sestoji iz naslednjih komponent (ELS Electronic Laser system, 2014):

- laser,
- laserska tarča,
- merilno kolo,
- računalniška konzola z ustrežno programsko opremo.



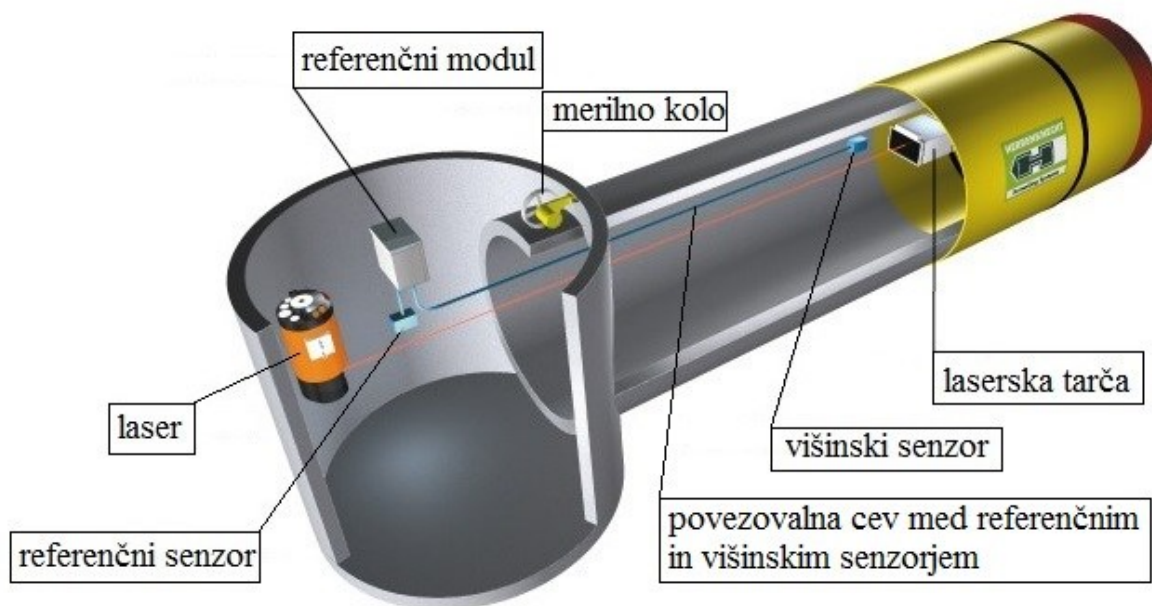
Slika 13: Elektronski laserski navigacijski sistem ELS (ELS Electronic Laser system, 2014)

### 3.2.2 Elektronski laserski navigacijski sistem s hidrostatičnim vodnim izravnavanjem ELS-HWL

Navigacijski sistem ELS-HWL je nadgradnja sistema ELS, kateremu je dodan sistem hidrostatičnega vodnega izravnavanja HWL. Sistem ELS-HWL je primeren za izgradnjo daljših ravnih vrtin do 400 metrov. Preko uporabe referenčnega modula in referenčnega višinskega senzorja, ki sta nameščena v vstopni gradbeni jami ter višinskega senzorja, ki je nameščen v vrtalnem stroju, nas sistem HWL stalno oskrbuje s podatki o višini vrtalnega stroja, medtem ko sistem ELS nudi podatke o horizontalnem položaju in usmerjenosti vrtalnega stroja. Podatki o višini, horizontalnem položaju in usmerjenosti vrtalnega stroja se sproti prikazujejo na ekranu računalnika v kontrolni kabini (ELS with Hydrostatic Water Leveling, 2014).

Elektronski laserski navigacijski sistem s hidrostatičnim vodnim izravnavanjem ELS-HWL sestoji iz naslednjih komponent (ELS with Hydrostatic Water Leveling, 2014):

- laser,
- laserska tarča,
- merilno kolo,
- referenčni modul,
- referenčni višinski senzor (nameščen v vstopni gradbeni jami),
- višinski senzor (nameščen v vrtalnem stroju),
- povezovalna cev med referenčnim in višinskim senzorjem,
- računalniška konzola z ustrezno programsko opremo.



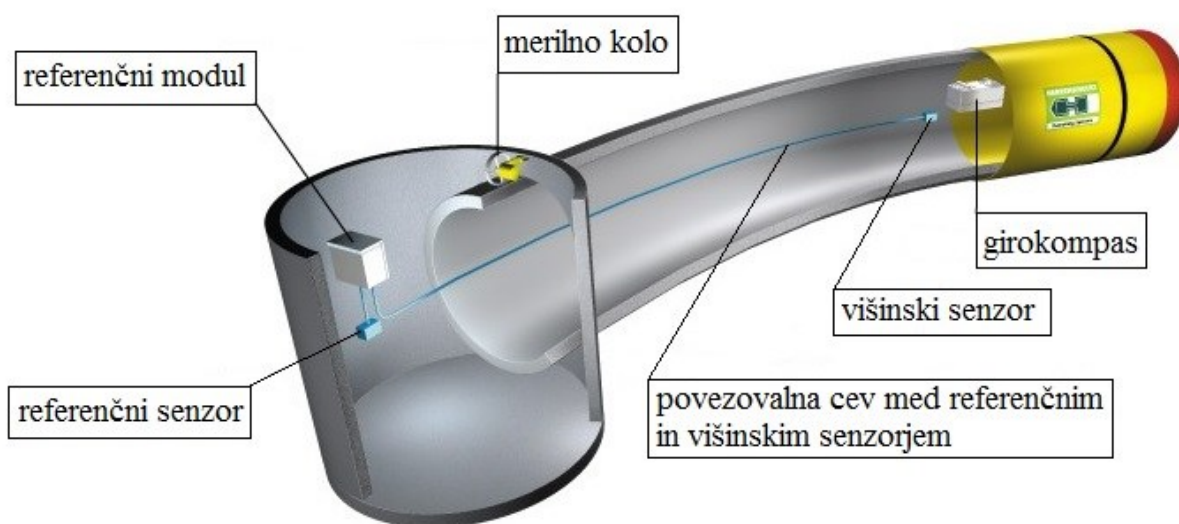
Slika 14: Elektronski laserski navigacijski sistem s hidrostatičnim vodnim izravnavanjem ELS-HWL (ELS with Hydrostatic Water Leveling, 2014)

### 3.2.3 Girokopski navigacijski sistem GNS

Sistem GNS se uporablja za izgradnjo daljših vrtin različnih horizontalnih in vertikalnih radijev, kjer zaradi ukrivljenosti predora ni mogoče zagotoviti proste vizure med vstopno gradbeno jamo in vrtalnem strojem. Primeren je pri predorih, katerih notranji premer znaša vsaj 800 milimetrov. Za določitev horizontalnega položaja in usmerjenosti vrtalnega stroja skrbi girokompas, ki je nameščen v vrtalnem stroju. Girokompas na zahtevo preračuna smer proti severu glede na os vrtalnega stroja, sistem HWL pa skrbi za stalen pritok podatkov o višini vrtalnega stroja. S pomočjo vseh pridobljenih podatkov iz girokompasa in sistema HWL se natančno določi trenutni položaj vrtalnega stroja, ki se prikazuje na ekranu računalnika v kontrolni kabini (Gyro Navigation System for Pipe Jacking, 2014).

Girokopski navigacijski sistem GNS sestoji iz naslednjih komponent (Gyro Navigation System for Pipe Jacking, 2014):

- referenčni modul,
- referenčni višinski senzor (nameščen v vstopni gradbeni jami),
- višinski senzor (nameščen v vrtalnem stroju),
- povezovalna cev med referenčnim in višinskim senzorjem,
- merilno kolo,
- girokompas,
- računalniška konzola z ustrezno programsko opremo.



Slika 15: Girokopski navigacijski sistem GNS (Gyro Navigation System for Pipe Jacking, 2014)

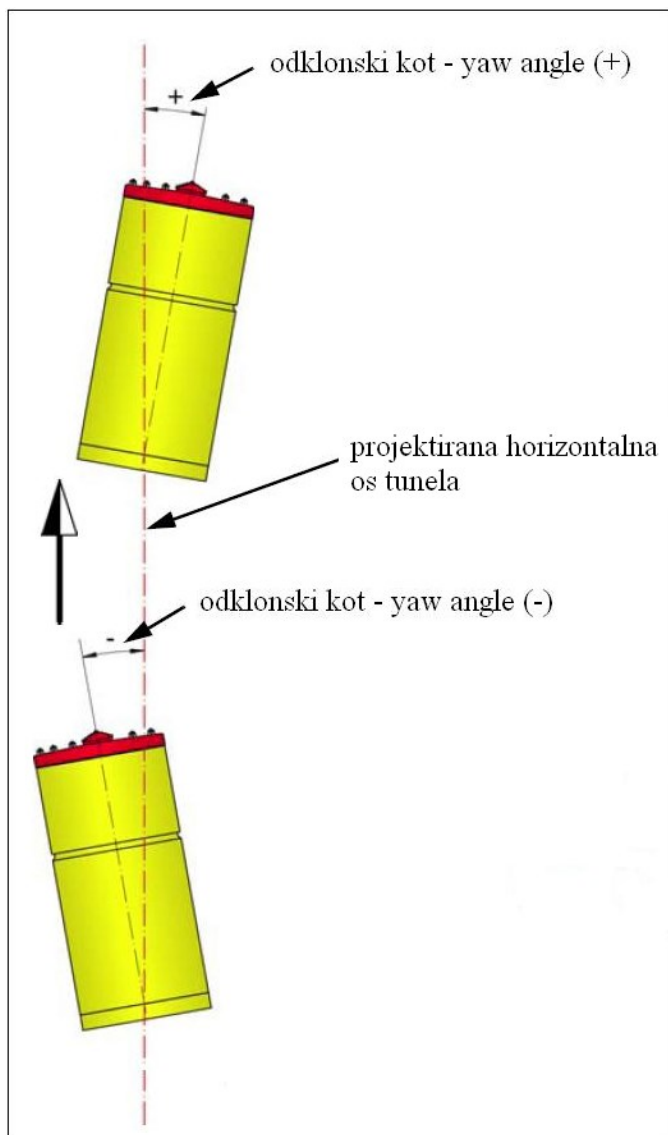
## **4 MOŽNE NAPAKE PRI DOLOČEVANJU POLOŽAJA VRTALNEGA STROJA Z NAVIGACIJSKIM SISTEMOM UNS**

Merska netočnost navigacijskega sistema UNS se izraža kot razlika med lokacijo stroja določeno s pomočjo navigacijskega sistema UNS in lokacijo vrtalnega stroja, ki se pridobi s kontrolnimi geodetskimi meritvami. Na točnost navigacijskega sistema UNS najbolj vplivajo naslednji dejavniki (Operating Manual, 2010):

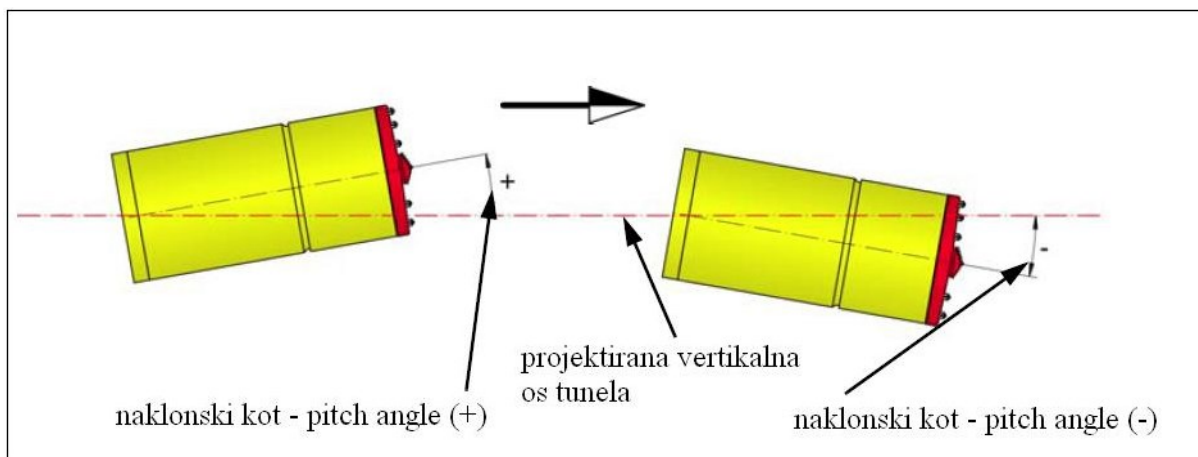
- točnost določitve položaja vrtalnega stroja pred pričetkom vrtnanja,
- drsenje vrtalnega stroja (angl.: TBM drift),
- napačno delovanje merilnega kolesa.

### **4.1 Točnost določitve položaja vrtalnega stroja pred pričetkom vrtnanja**

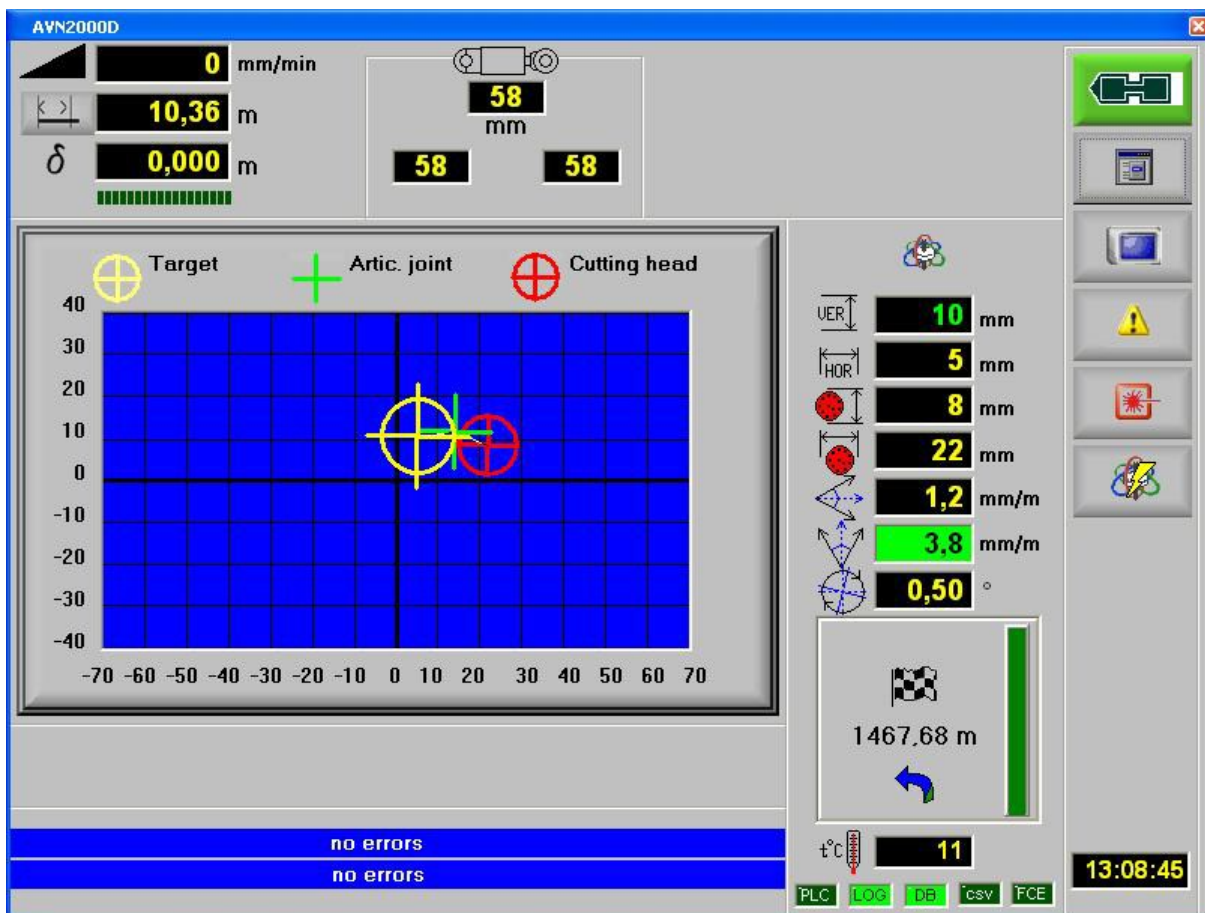
Določitev položaja vrtalnega stroja pred pričetkom vrtnanja je potrebna pri girokopskem navigacijskem sistemu GNS. Namen izmere položaja vrtalnega stroja pred pričetkom vrtnanja je ugotoviti položaj vrtalnega stroja glede na projektirano točko začetka vrtnanja, kot tudi začetno horizontalno in vertikalno odstopanje osi vrtalnega stroja od projektirane osi vrtnanja (glej Slike 16, 17 in 18). Ugotovljen začetni položaj stroja in morebitna odstopanja osi vrtalnega stroja od projektirane osi vrtnanja se kasneje vnesejo v navigacijski sistem UNS vrtalnega stroja. Le-ta vnesene podatke prevzame kot začetne, točne vrednosti položaja stroja pred pričetkom vrtnanja. Morebitna napačno izmerjena odstopanja se, med samim vrtnanjem, odražajo v napačnih rezultatih navigacijskega sistema. Če, na primer, začetno horizontalno smer osi vrtalnega stroja od projektirane osi vrtnanja izmerimo za 1 mm/m napačno, je posledično horizontalni položaj vrtalnega stroja, ki ga prikazuje navigacijski sistem UNS (glej Sliko 18), po 10 metrih vrtnanja napačen za 10 milimetrov, po 20 metrih vrtnanja pa za 20 milimetrov. Zato je zelo pomembno, da je izmera položaja vrtalnega stroja pred pričetkom vrtnanja izvedena z največjo možno stopnjo točnosti. Prav tako je pomembno, da po približno 15 metrih od začetka vrtnanja izvedemo prvo kontrolno geodetsko meritev položaja vrtalnega stroja. Nadaljnje kontrolne meritve izvajamo približno vsakih 40 metrov (Operating Manual, 2010).



Slika 16: Odklonski kot – yaw angle (Operating Manual, 2010)



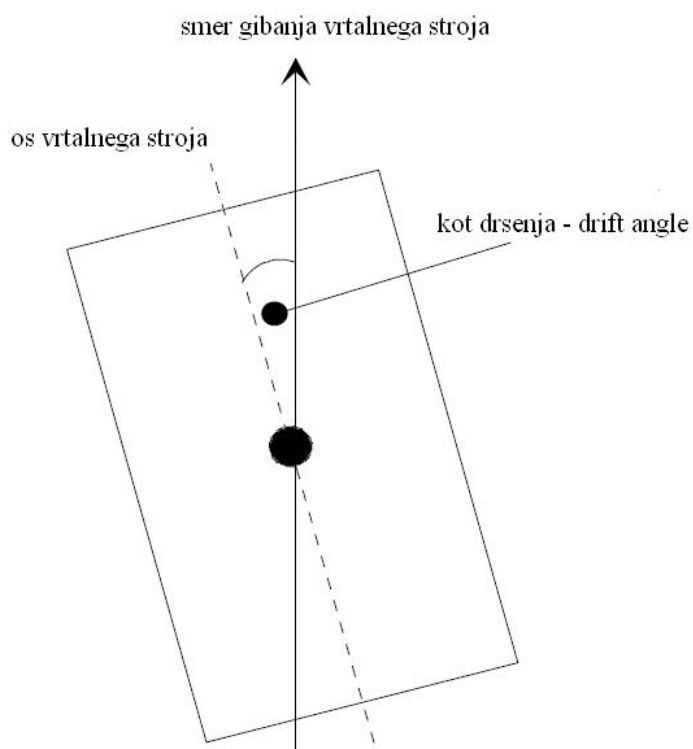
Slika 17: Naklonski kot – pitch angle (Operating Manual, 2010)



Slika 18: Prikaz odstopanja vrtnega stroja od projektirane linije pri giroskopskem navigacijskem sistemu GNS (Operating Manual, 2010)

## 4.2 Drsenje vrtnega stroja

Drsenje vrtnega stroja je izraženo s kotom (angl.: drift angle) med osjo vrtnega stroja ter smerjo gibanja vrtnega stroja. Velikost kota drsenja je odvisna predvsem od sestave tal, vrste rezalne glave ter velikosti vrtnega stroja (Operating Manual, 2010).



Slika 19: Kot drsenja – drift angle (Operating Manual, 2010)

Girokopski navigacijski sistem GNS drsenja vrtnega stroja ni zmožen zaznati, kar posledično močno vpliva na točnost rezultatov o horizontalnem odstopanju vrtnega stroja, ki nam jih poda navigacijski sistem. V kolikor želimo dobiti velikost kota drsenja, moramo opraviti kontrolno geodetsko meritev na istem mestu, kjer je bila določena lokacija stroja s pomočjo girokopskega navigacijskega sistema. Za čim točnejšo določitev velikosti kota drsenja morajo biti tudi kontrolne meritve izvedene z veliko stopnjo točnosti (Operating Manual, 2010).



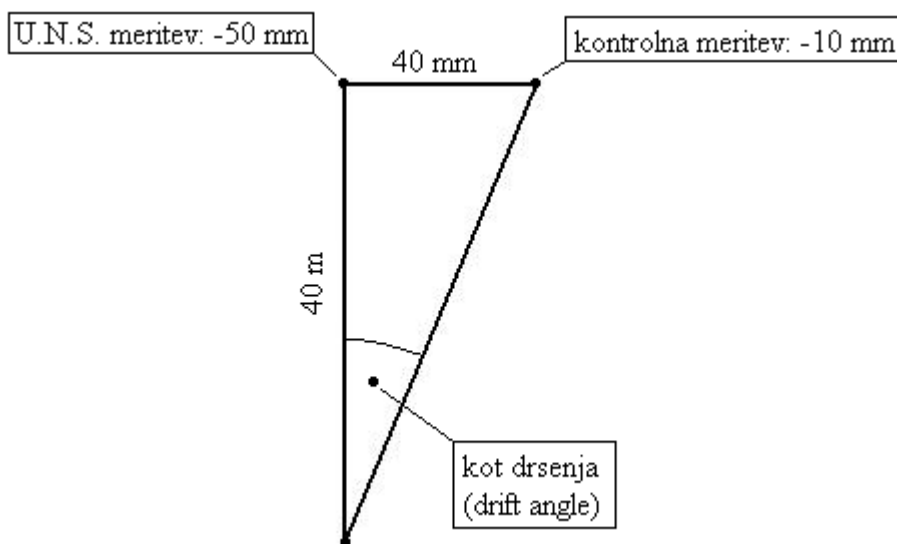
Primer izračuna velikosti kota drsenja (Operating Manual, 2010):

*Podatki:*

- razdalja od zadnje kontrolne meritve = 40 m
- horizontalno odstopanje kontrolne točke vrtnega stroja, ki ga kaže UNS = -50 mm
- horizontalno odstopanje kontrolne točke stroja, ki ga pridobimo s kontrolno meritvijo = -10 mm

*Izračun:*

$$\text{kot drsenja} = \arctan\left(\frac{-10 \text{ mm} - (-50 \text{ mm})}{40000 \text{ mm}}\right) = 0,064 \text{ gon}$$



Slika 20: Izračun kota drsenja (Operating Manual, 2010)

Izračunani kot drsenja se vpiše v navigacijski sistem UNS kot eden izmed korekcijskih parametrov. V kolikor se sestava tal med vrtnjem ne spreminja, tudi kot drsenja ostaja približno enak.

### 4.3 Napačno delovanje merilnega kolesa

Merilno kolo (glej Sliko 21) služi sprotnemu določevanju dolžine izvrtanega predora. V kolikor je delovanje merilnega kolesa ovirano ali onemogočeno, navigacijski sistem UNS beleži napačen položaj vrtnega stroja. Merilno kolo se namesti na čelno steno vstopne gradbene jame, in sicer tako, da je vseskozi naslonjeno na teme potisne cevi. S potiskanjem cevi v izvrtino dosežemo vrtenje merilnega kolesa, ki neprestano beleži skupno dolžino izvrtanega predora. Do napačnega delovanja merilnega kolesa pride največkrat ob sneženju ali zelo hladnemu vremenu. Takrat se lahko namreč na površini potisnih cevi naredi led, zaradi česar merilno kolo zdrsuje in ne beleži pravih vrednosti. Zato je pomembno, da je teme cevi vedno očiščeno (Operating Manual, 2010).



Slika 21: Pravilno nameščeno merilno kolo

## 5 PRAKTIČEN PRIMER IZVEDBE KONTROLNIH GEODETSKIH MERITEV POLOŽAJA VRTALNEGA STROJA

### 5.1 Splošno

Zaradi konfiguracije terena je bilo potrebno, med gradnjo prenosnega plinovoda M2/1 Rogaška Slatina – Trojane in M2/1 Trojane – Vodice, na predvideni trasi plinovoda, izvesti 4 mikropredore s tehnologijo uvajanja cevi s potiskanjem:

- mikropredor Zgornja Hudinja (551 metrov),
- mikropredor Brode (337 metrov),
- mikropredor Ločica (151 metrov),
- mikropredor Šentožbolt (341 metrov).

Za izgradnjo vseh štirih mikropredorov se je uporabil vrtalni stroj AVN1200TB podjetja Herrenknecht AG s premerom vrtalne glave 1740 milimetrov. Za vrtalnim strojem so se potiskale betonske potisne cevi notranjega premera 1400 milimetrov in zunanjšega premera 1726 milimetrov ter dolžine 3 metre. Transport vrtalne tekočine v vrtalno glavo ter transport izvrtanega materiala do reciklirne naprave se je izvajal preko transportnih cevi premera 125 milimetrov, ki so bile položene na dno betonskih cevi, kjer so bile položene tudi hidravlične cevi namenjene upravljanju vrtalnega stroja. Pri vseh štirih mikropredorih je bil zaradi vertikalne ukrivljenosti predorov uporabljen girokopski navigacijski sistem GNS, ki poleg lastnih meritev položaja vrtalnega stroja, zahteva dodatne geodetske kontrolne meritve.

Namen geodetskih kontrolnih merenj pri uvajanju cevi s potiskanjem je, da se med izvajanjem del čim natančneje ugotovi položaj vrtalnega stroja. V kolikor se s pomočjo teh meritev ugotovi, da je vrtalni stroj zašel iz projektirane poti, se izvede korekcija položaja vrtalnega stroja. Zagotoviti je namreč potrebno, da se vrtanje zaključi na natančno predvidenem mestu v izstopni gradbeni jami.

Pri vseh zgoraj naštetih mikropredorih je bila zahtevana natančnost preboja  $\pm 0,50$  m.

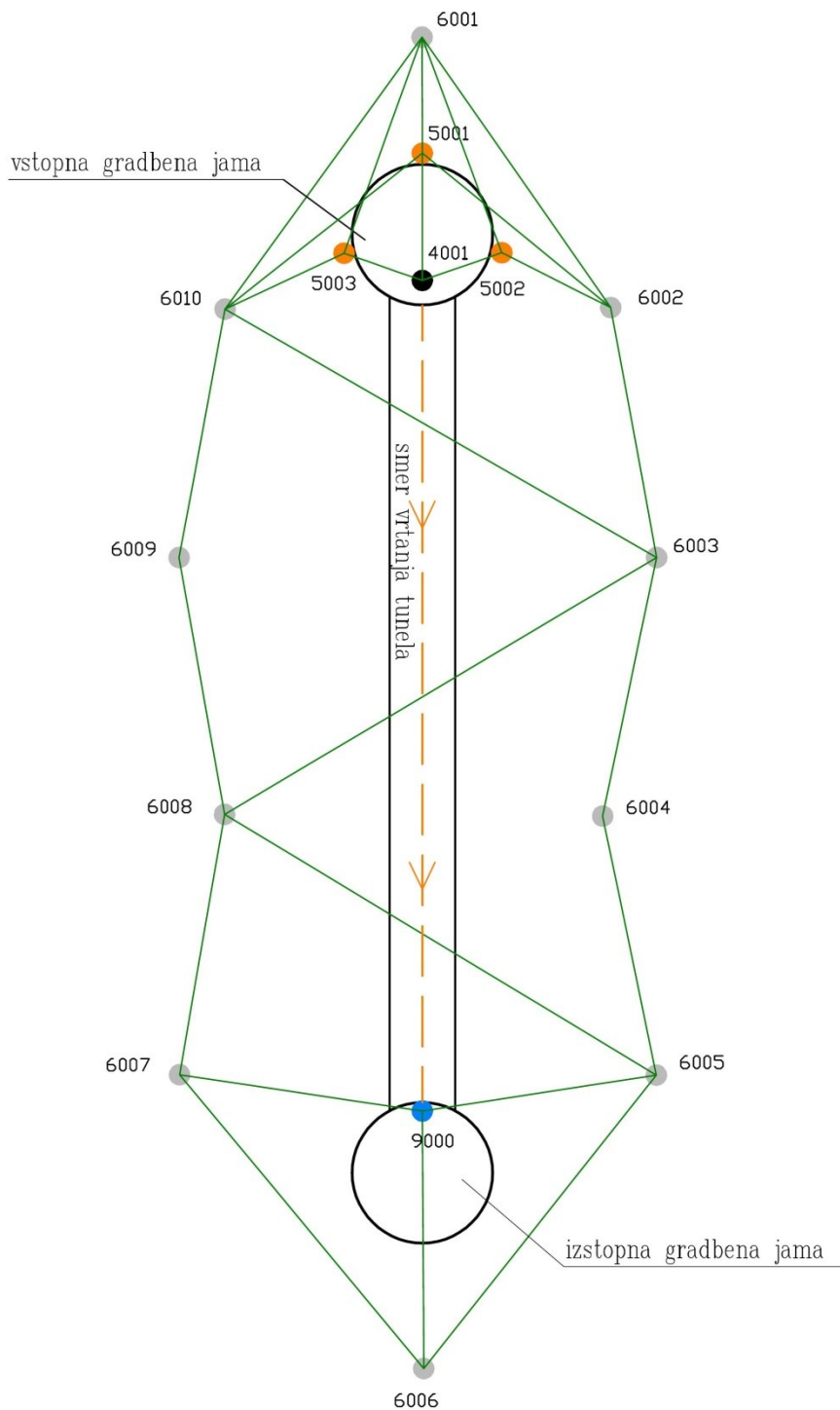
## 5.2 Načrtovanje, vzpostavitev in izmera geodetske mreže

Eden izmed pogojev za kvalitetne geodetske rezultate je stabilna geodetska mreža. V ta namen smo si na območju predvidene trase vrtanja pripravili mrežo stabilnih geodetskih točk.

Pred izgradnjo vstopne in izstopne gradbene jame smo ob trasi predvidenega vrtanja vzpostavili osnovno mrežo geodetskih točk (6001, 6002, 6003, ...), in sicer tako, da je bila iz vsake točke mreže zagotovljena vidnost vsaj še na dve točki mreže (Slika 22). Na ta način smo povečali čvrstost mreže in s tem natančnost koordinat točk mreže. V mrežo smo vključili tudi točki začetka in konca vrtanja (4001 in 9000), ki sta bili v tej fazi gradnje mikropredora stabilizirani z lesenima koloma. S tem smo dosegli, da so bile točke geodetske mreže in točki začetka in konca vrtanja izmerjene v istem lokalnem horizontalnem geodetskem datumu. Višinski geodetski datum smo prevzeli od geodeta drugega podjetja, ki je bil zadolžen za zakoličbo predvidene trase prenosnega plinovoda M2/1, in je predhodno določil tudi točki začetka in konca vrtanja. V bližini vstopne gradbene jame je predhodno stabiliziral nekaj višinskih geodetskih točk, ki jih je uporabljal pri zakoličevanju trase prenosnega plinovoda M2/1, mi pa smo višine omenjenih točk prenesli v našo mrežo.

Po izgradnji vstopne gradbene jame smo osnovno geodetsko mrežo zgostili tako, da smo v neposredni bližini le-te stabilizirali še dodatne tri točke geodetske mreže (5001, 5002, 5003).

Točka 5001 v neposredni bližini vstopne gradbene jame (Slika 23) je služila kot izhodišče naše izmere in je bila v naravi stabilizirana z betonskim stebrom z nastavkom za prisilno centriranje, ostale točke mreže (5002, 5003, 6001, 6002, 6003, ...) pa so bile stabilizirane z vkopanimi betonskimi valji z vgrajeno kovinsko ploščo, na kateri je bila vdelana luknjica premera 3 mm (Slika 24) ali pa z odbojnimi nalepkami (retro reflektor) dimenzije 60 x 60 mm, ki smo jih namestili na okoliške stavbe.



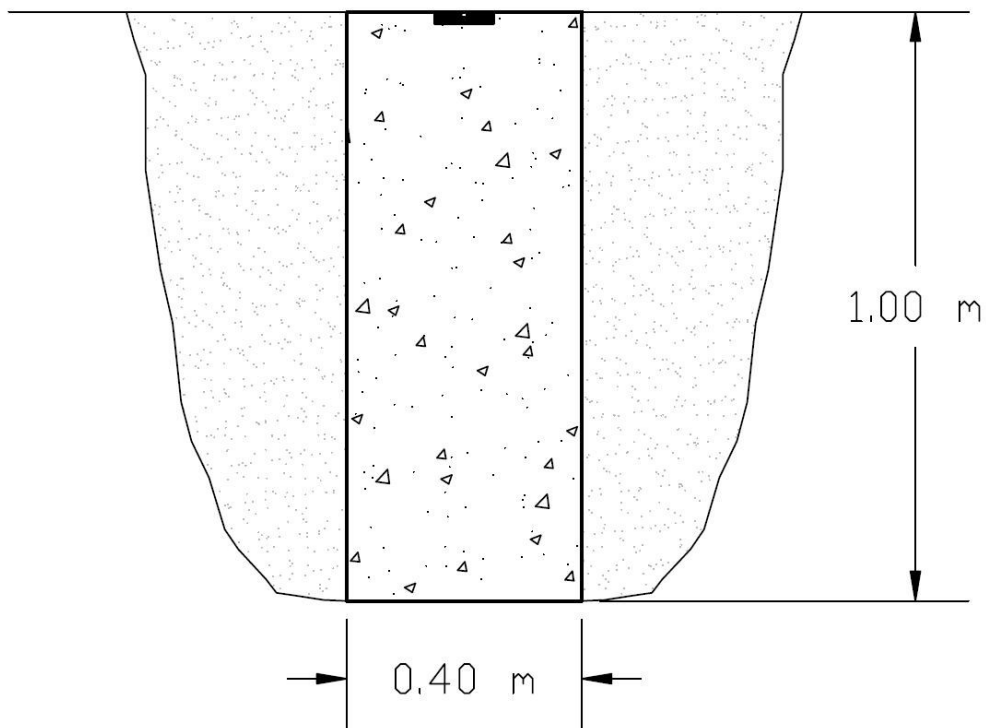
Slika 22: Shematski prikaz geodetske mreže

Na skici so označene točke:

- - stabilizirana geodetska točka v neposredni bližini vstopne gradbene jame (5001, 5002, 5003),
- - stabilizirana geodetska točka v okolici trase vrtanja (6001, 6002, 6003, ...),
- - projektirana točka konca vrtanja (9000),
- - projektirana točka začetka vrtanja (4001).



Slika 23: Betonski steber z nastavkom za prisilno centriranje – točka 5001



Slika 24: Način stabilizacije točk geodetske mreže

Po stabilizaciji vseh točk smo z elektronskim tahimetrom Leica TCRA 1103+ še enkrat opravili izmero mreže s sočasnim merjenjem horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine proti opazovani točki. Na vsaki točki smo opravili 6 girusov. Točke smo signalizirali s preciznimi reflektorji (GPR121) ali pa z odbojnimi nalepkami.

V primeru mikropredora Zgornja Hudinja smo po končanih meritvah izvedli izravnavo horizontalne geodetske mreže v programu GEM in izravnavo višinske geodetske mreže v programu VIM. Nekaj statističnih podatkov o izravnavi podajamo v naslednjih preglednicah:

Preglednica 1: Analiza natančnosti opazovanj točk v ravninski geodetski mreži – mikropredor Zgornja Hudinja

Standardna deviacija določitve položaja ( $\sigma_p$ )	1,4 mm
Standardna deviacija utežne enote ( $\hat{\sigma}_0$ )	0,74
Standardna deviacija smeri ( $\sigma_\alpha$ )	1,5"
Standardna deviacija dolžine ( $\sigma_D$ )	0,7 mm
Št. merjenj ( $n$ )	45
Št. neznank ( $u$ )	15
Št. nadštevilnih merjenj ( $r$ )	30

Preglednica 2: Analiza natančnosti opazovanj točk v višinski geodetski mreži – mikropredor Zgornja Hudinja

Standardna deviacija utežne enote ( $\hat{\sigma}_0$ )	0,0058
Največja standardna deviacija višine	0,5 mm
Št. merjenj ( $n$ )	18
Št. neznank ( $u$ )	4
Št. nadštevilnih merjenj ( $r$ )	14

Na podlagi izkušenj, ki smo jih pridobili pri izvajanju kontrolnih geodetskih meritev na predoru Zgornja Hudinja, ter glede na zahtevano natančnost preboja 0,5 metra in zahteve naročnika po ekonomičnosti projekta, smo se odločili, da izravnavo mreže pri naslednjih mikropredorih ni potrebna. Ocenili smo namreč, da nam kvalitetno izmerjena mreža, četudi meritve v mreži niso izravnane, omogoča dovolj natančne rezultate, da lahko zagotovimo zahtevano natančnosti preboja 0,5 metra. Kljub temu, da pri naslednjih predorih izravnave mreže nismo opravili, smo vse nadaljnje mreže izmerili v vsaj treh girusih. S primerjavo girusov smo ugotovili, če so meritve, in posledično geodetska mreža, brez grobih pogreškov.

### 5.3 Merska oprema in metoda izmere

Kontrolne geodetske meritve vseh predorov smo opravili z elektronskim tahimetrom Leica TCRA 1103+ s kotno natančnostjo  $\sigma_{\text{ISO-THEO}}$ : 3", natančnostjo merjenja dolžin  $\sigma_{\text{ISO-EDM}}$ : 2mm ; 2ppm, načinom avtomatskega prepoznavanja tarče (angl.: Automatic Target Recognition ATR) in merilnim dosegom do 1800 m. Za signalizacijo točk smo uporabili odbojne nalepke in precizne reflektorje (GPR121) s podnožji z optičnim grezilom (GDF 112) na stativih (GST 120-9) ali v ta namen izdelanih konzolah (Slika 25). Meritve mreže in meritve v sami predorski cevi so bile izvedene po girusni metodi s sočasnim merjenjem horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine proti merjeni točki, pri čemer je bila pri meritvah osnovne mreže vsaka smer, zenitna razdalja in dolžina merjena v vsaj treh girusih, meritve v predorski cevi pa smo izvedli v enem girusu. V predorski cevi je izmera potekala v obliki slepega poligona.



Slika 25: Tahimeter Leica TCRA 1103 + (Leica TCRA 1103 Plus Robotic Total Station, 2015)





Slika 26: Konzola za fiksiranje podnožja



Slika 27: Precizni reflektor GPR 121 (Leica GPR 121, 2015) s tarčo in podnožje z optičnim grezilom GDF 112 (Leica GDF 112, 2015)

#### 5.4 Kontrolne geodetske meritve pred pričetkom vrtanja

Pred pričetkom vrtanja smo na sprednjo in zadnjo steno vstopne gradbene jame namestili šablone, ki sta označevali projektirano os vrtanja predora. Osni šablone sta služili čim natančnejši namestitvi vrtalnega stroja v vstopno gradbeno jamo. Potrebno je bilo namreč zagotoviti, da je položaj vrtalnega stroja pred pričetkom vrtanja čim bolj poravnan s projektirano osjo vrtanja.



Slika 28: Osna šablona (Jobsite Setup and Preparation for Pipe Jacking Works, 2010)

Po namestitvi vrtalnega stroja v vstopno gradbeno jamo, smo morali opraviti izmero položaja vrtalnega stroja pred pričetkom vrtanja. Cilj je bil ugotoviti morebitno horizontalno in vertikalno odstopanje osi vrtalnega stroja od projektirane osi vrtanja. Hkrati je bilo potrebno izmeriti tudi položaj kontrolne točke vrtalnega stroja AVN1200TB, ki se nahaja v samem stroju, in sicer natanko 3149 milimetrov za začetkom vrtalne glave v osi stroja. Ugotoviti je bilo potrebno, kje točno se nahaja ta točka glede na projektirano začetno točko vrtanja. Dodatno smo izmerili tudi kot zasuka vrtalnega stroja pred pričetkom vrtanja.

##### Količine, ki jih je potrebno izmeriti pred pričetkom vrtanja:

- horizontalno odstopanje osi vrtalnega stroja (odklonski kot – angl. yaw angle) od projektirane osi vrtanja (izraženo v mm/m) – Slika 16,
- vertikalno odstopanje osi vrtalnega stroja (naklonski kot – angl. pitch angle) od projektirane osi vrtanja (izraženo v mm/m) – Slika 17,
- prečno, višinsko in vzdolžno odstopanje položaja kontrolne točke vrtalnega stroja od projektirane točke začetka vrtanja (izraženo v mm),
- kot zasuka vrtalnega stroja – angl. roll angle (izražen v decimalnih stopinjah).

#### **5.4.1 Določitev horizontalnega in vertikalnega odstopanja osi vrtnega stroja od projektirane osi vrtnja**

Horizontalno in vertikalno odstopanje osi vrtnega stroja od projektirane osi vrtnja smo izmerili s pomočjo prirejene vodne tehtnice (libele) – Slika 28, ki je omogočala določitev horizontalne osi vrtnega stroja. Omenjena vodna tehtnica je imela v svojem centru vgrajen nastavek za namestitev mini reflektorja ter posebne podstavke, ki so omogočali postavitve libele na vrtni stroj (ki je v obliki valja) in s tem določitev njegove horizontalne osi.

Pred pričetkom izmere smo na betonski steber (točka 5001) prisilno centriralni in horizontirali tahimeter Leica TCRA 1103+ ter po girusni metodi s sočasn timerjenjem horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine merili na prej signalizirane točke osnovne geodetske mreže. Nato smo na temenu vrtnega stroja, s pomočjo vodne tehtnice, na 3 različnih mestih (začetku, sredini in koncu vrtnega stroja), določili os vrtnega stroja in merili smeri in dolžine proti signaliziranim točkam.

Dobljene koordinate omenjenih točk smo vnesli v programsko orodje AutoCad Civil 3D. Med točkama na začetku in koncu vrtnega stroja (točka izmerjena na sredini vrtnega stroja je služila za kontrolo) smo potegnili daljico in njeno usmeritev primerjali s projektirano horizontalno osjo vrtnja. Na ta način smo določili horizontalno odstopanje (odklonski kot – yaw angle) osi vrtnega stroja od projektirane horizontalne osi vrtnja.

Kasneje smo s pomočjo razdalje in višinske razlike med točkama na začetku in koncu vrtnega stroja določili še vertikalno usmeritev vrtnega stroja (naklon) in podatke primerjali s projektirano vertikalno osjo vrtnja. Na ta način smo določili vertikalno odstopanje (naklonski kot – pitch angle) osi vrtnega stroja od projektirane horizontalne osi vrtnja.



Slika 29: Vodna tehtnica (libela) s pomočjo katere določimo horizontalno os valja



Slika 30: Merjenje horizontalnega in vertikalnega odstopanja vrtnega stroja od projektirane osi vrtnja

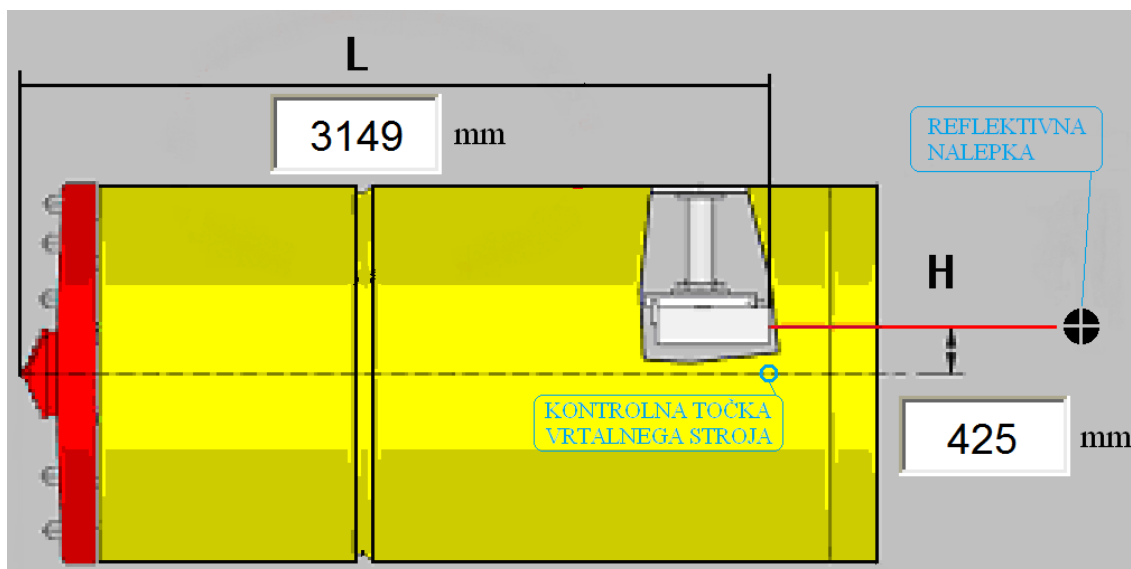
#### ***5.4.2 Določitev prečnega, višinskega in vzdolžnega odstopanja položaja kontrolne točke vrtnega stroja od projektirane točke začetka vrtnja***

Ko smo izmerili in izračunali horizontalno in vertikalno odstopanje osi vrtnega stroja od projektirane osi vrtnja, smo izmerili še položaj kontrolne točke vrtnega stroja ( $Y, X, H$ ). Na podlagi izmerjenega položaja kontrolne točke, smo kasneje določili prečno, višinsko in vzdolžno odstopanje položaja kontrolne točke vrtnega stroja od projektirane točke začetka vrtnja.

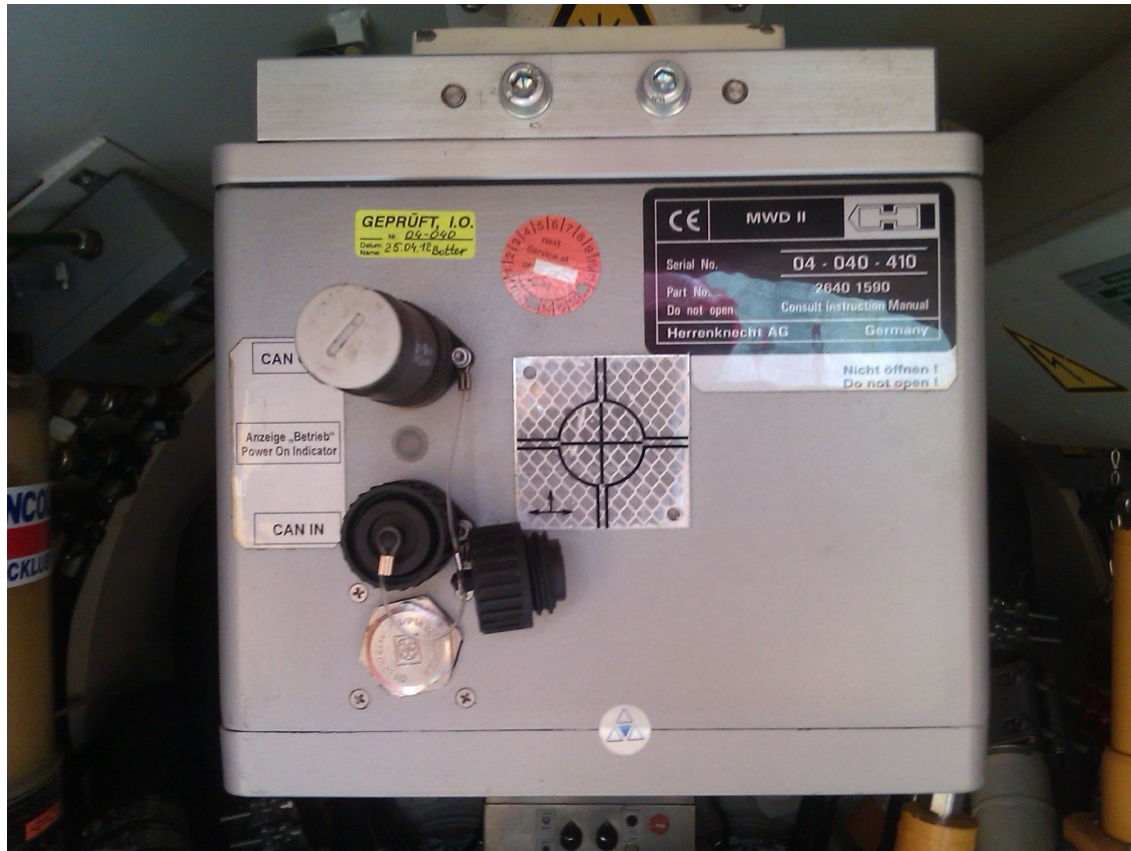
Kontrolna točka vrtnega stroja AVN1200TB se nahaja točno 3149 milimetrov za začetkom vrtnice glave v osi stroja. Kontrolna točka ni fizično označena, zato njen položaj določimo na podlagi izmerjenega položaja odbojne nalepke (Slika 31), ki se nahaja točno 425 milimetrov nad kontrolno točko vrtnega stroja.

Za enostavno določitev prečnega, višinskega in vzdolžnega odstopanja položaja kontrolne točke vrtnega stroja od projektirane točke začetka vrtnja, vstavimo dobljene koordinate položaja kontrolne točke vrtnega stroja ( $Y, X, H$ ) v programsko orodje UNStrans proizvajalca Herrenknecht. V program predhodno vnesemo vse parametre projektirane osi vrtnja (koordinate začetka in konca vrtnja, ter radij morebitne vertikalne ali horizontalne ukrivljenosti osi), ta pa nam kot rezultat vrne prečno, višinsko in vzdolžno odstopanje položaja kontrolne točke vrtnega stroja od projektirane točke začetka vrtnja.

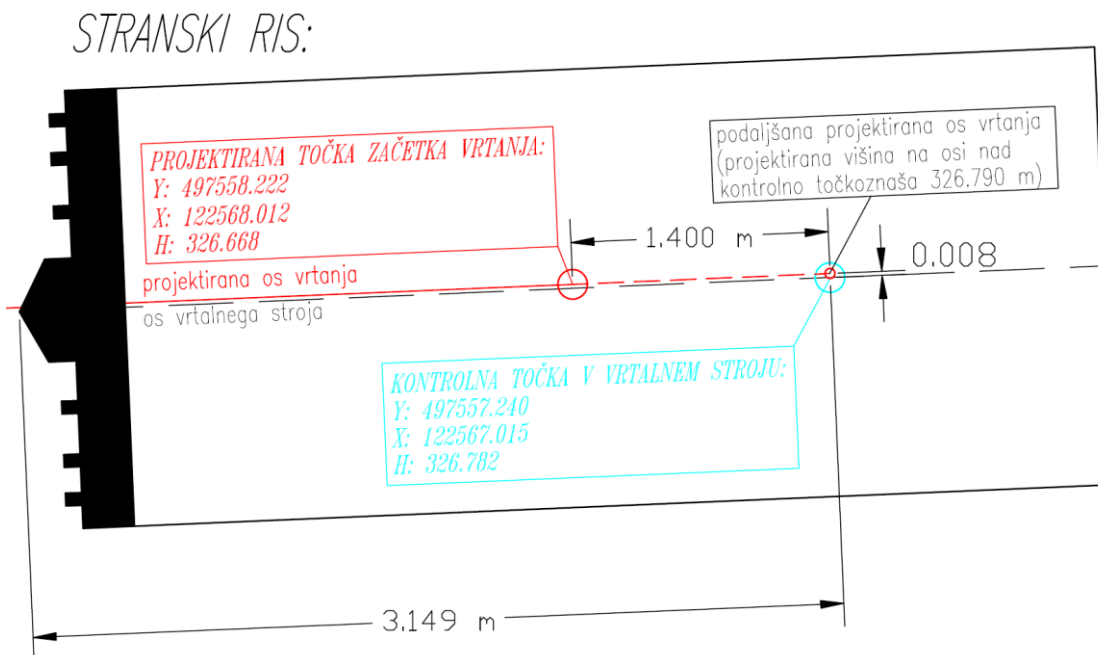
V kolikor programskega orodja UNStrans nimamo na voljo, lahko višinsko odstopanje določimo s pomočjo vzdolžnega profila projektirane osi vrtanja, prečno in vzdolžno odstopanja pa določimo s pomočjo situacijskega načrta.



Slika 31: Položaj kontrolne točke vrtalnega stroja (Operating Manual, 2010)



Slika 32: Odbojna nalepka na girokompasu

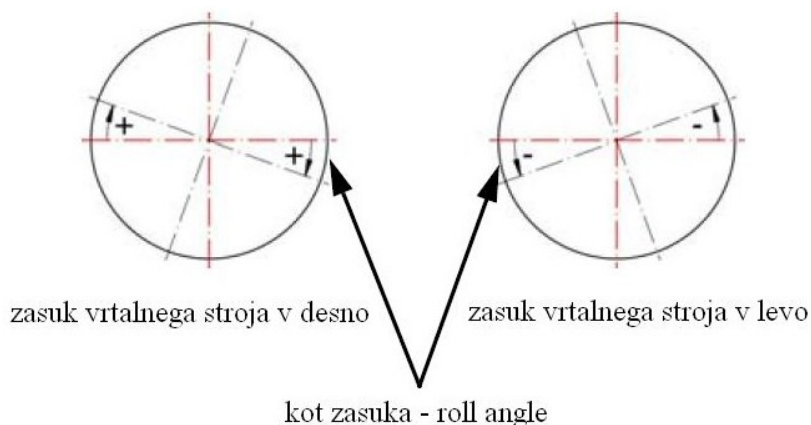


Slika 33: Položaj kontrolne točke vrtnega stroja pred pričetkom vrtanja – mikropredor Ločica

#### 5.4.3 Določitev kota zasuka

Ker odbojna nalepka, s pomočjo katere določamo položaj kontrolne točke vrtnega stroja, ni nameščena v osi stroja (v našem primeru je položaj odbojne nalepke 425 milimetrov nad kontrolno točko), je potrebno za natančno določitev položaja kontrolne točke upoštevati zasuk vrtnega stroja.

Kot zasuka (angl.: roll angle) določimo tako, da na girokompas (v kolikor ni nagiba stroja je le-ta v vodoravnem položaju) postavimo elektronsko vodno tehtnico (libelo) ter odčitamo kot nagiba oziroma zasuka vrtnega stroja v decimalnih stopinjah. V kolikor je vrtni stroj nagnjen v desno, ima kot zasuka pozitiven predznak, če pa je stroj nagnjen v levo, potem ima kot zasuka negativen predznak (Operating Manual, 2010).



Slika 34: Kot zasuka – roll angle (Operating Manual, 2010)

#### 5.4.4 Vnos izmerjenih količin v navigacijski sistem vrtnega stroja

Da bi zagotovili pravilno delovanje navigacijskega sistema vrtnega stroja, je potrebno pred pričetkom vrtnja v navigacijski sistem vrtnega stroja vnesti prej opisane izmerjene količine (Operating Manual, 2010):

1. odklonski kot – yaw angle,
2. kot zasuka – roll angle,
3. naklonski kot – pitch angle,
4. prečno odstopanje kontrolne točke od projektirane točke začetka vrtnja,
5. vzdolžno odstopanje kontrolne točke od projektirane točke začetka vrtnja,
6. višinsko odstopanje kontrolne točke od projektirane točke začetka vrtnja.

start values of machine		
odklonski kot	1.0	mm/m
kot zasuka	0.5	°
naklonski kot	1.2	mm/m
geogr. širina	47.0	°
prečno ods.	+5	mm
vzdolžno ods.	5.210	m
višinsko ods.	+1	mm

Start position		
Y	1004.169	m
X	1003.124	m
Z	-1.778	m

start values of gyro		
direction	167.267	Gon
Roll	-0.60	°
Inclination	0.0	mm/m

direction(mm/m)	roll(deg)	pitch(mm/m)

Slika 35: Vnos začetnih vrednosti v navigacijski sistem vrtnega stroja (Operating Manual, 2010)

## 5.5 Kontrolna geodetska izmera v fazi vrтанja

Pri metodi uvajanja cevi s potiskanjem je bistvenega pomena, da vrtalni stroj prispe na točno določeno mesto v izstopni gradbeni jami. Da bi to zagotovili, ima vsak vrtalni stroj vgrajen napreden navigacijski sistem UNS, ki med samim vrтанjem neprestano javlja trenutni položaj vrtalnega stroja in njegov gibalni trend. Ker pa na točnost navigacijskega sistema UNS vplivajo različni dejavniki (točnost meritve položaja vrtalnega stroja pred pričetkom vrтанja, drsenje vrtalnega stroja, napačno delovanje merilnega kolesa), je redna, neodvisna kontrola položaja vrtalnega stroja bistvenega pomena (Operating Manual, 2010).

Merska netočnost navigacijskega sistema UNS se izraža kot razlika med lokacijo stroja, določeno s pomočjo navigacijskega sistema UNS in lokacijo vrtalnega stroja, ki se pridobi s kontrolnimi geodetskimi meritvami (Operating Manual, 2010).

Priporočeno je, da se prva kontrolna geodetska izmera izvede po približno 15 metrih od začetka vrтанja, nadaljnje kontrolne meritve pa izvajamo približno vsakih 40 m, oziroma po dogovoru z operaterjem vrtalnega stroja (Jobsite Setup and Preparation for Pipe Jacking Works, 2010).

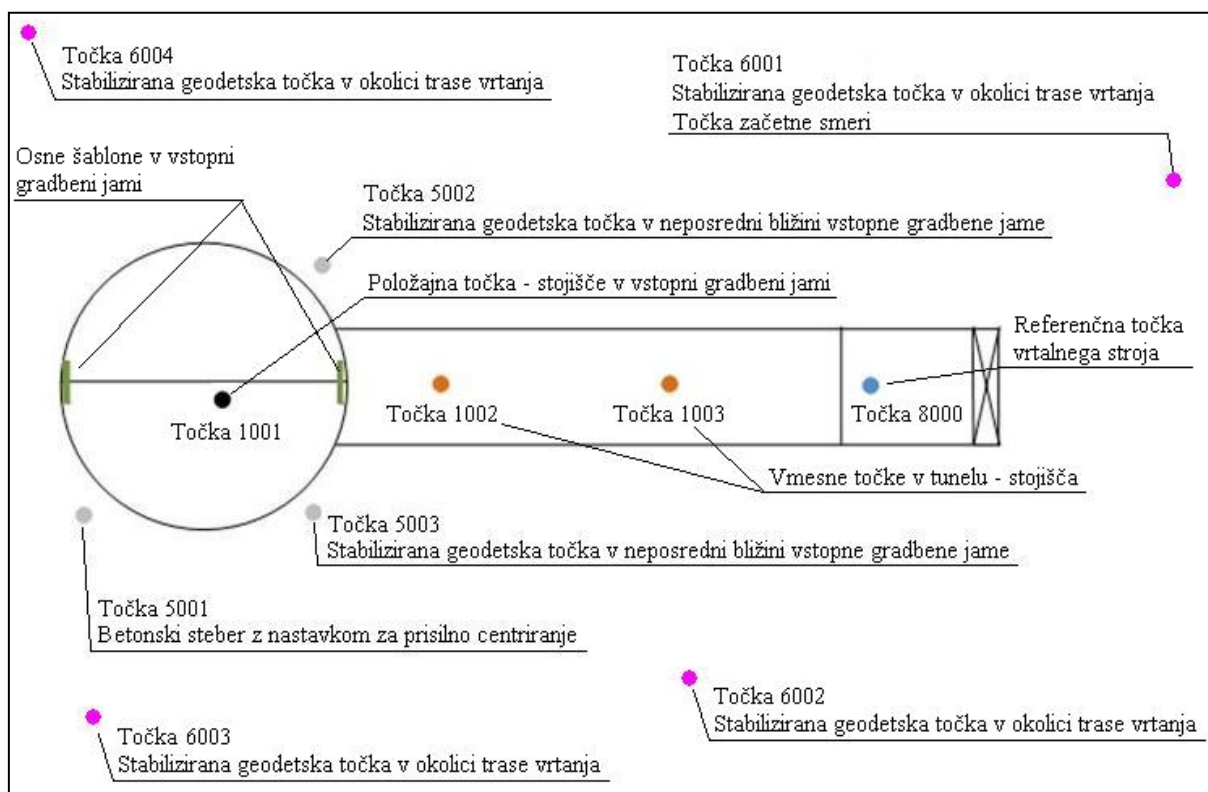
Rezultat kontrolne geodetske izmere je lokacija vrtalnega stroja izražena s koordinatami ( $Y$ ,  $X$ ,  $H$ ), ki jo vpišemo v navigacijski sistem UNS kot novo, točno lokacijo vrtalnega stroja. Na podlagi lokacije vrtalnega stroja, dobljene s pomočjo kontrolne geodetske meritve, dobimo tudi nove vrednosti horizontalnega in vertikalnega odstopanja kontrolne točke vrtalnega stroja od projektirane osi vrтанja.

S pomočjo primerjave horizontalnega odstopanja kontrolne točke vrtalnega stroja od projektirane osi vrтанja, ki ga kaže navigacijski sistem UNS in horizontalnega odstopanja kontrolne točke, ki ga določimo s pomočjo kontrolnih geodetskih meritev, izračunamo kot drsenja vrtalnega stroja (angl.: drift angle), ki se, poleg izmerjenih koordinat lokacije vrtalnega stroja, vpiše v navigacijski sistem vrtalnega stroja UNS (Operating Manual, 2010).



### 5.5.1 Postopek izvajanja kontrolnih geodetskih meritev v fazi vrtnanja

Pred pričetkom merjenj smo na betonski steber (točka 5001) prisilno centriral in horizontaliziral tahimeter Leica TCRA 1103+ ter po girusni metodi s sočasnim merjenjem horizontalnega kota, zenitne razdalje in poševne dolžine merili prej pripravljene točke geodetske mreže (točke 6001, 6002, 6003, 6004, 5002, 5003), ki so bile signalizirane s preciznimi reflektorji ali z odbojnimi nalepkami. Iz točke 5001 smo izmerili tudi točko 1001, ki predstavlja prosto postavljeno stojišče v vstopni gradbeni jami. Po prestavitvi tahimetra iz točke 5001 na točko 1001, smo izmerili dane točke 5001, 5002, 5003 ter detajlno točko 1002 v predorski cevi. V predorski cevi je izmera potekala v obliki slepega poligona. Točke 1002, 1003, 1004,... služijo kot vmesna stojišča med točko 1001 v vstopni gradbeni jami in točko 8000 – odbojno nalepko na vrtnem stroju (Slika 31), s pomočjo katere določimo položaj vrtnega stroja. Vmesna stojišča so stabilizirana s konzolami, vpetimi na potisne cevi, ki omogočajo pritrditev podnožja tahimetra (Slika 25). Med vrtnjem se vmesna stojišča, skupaj s kompozicijo že vgrajenih potisnih cevi, neprestano premikajo, zato je potrebno njihov položaj pri vsakem merjenju ponovno določiti.



Slika 36: Shematski prikaz geodetskih točk med izvajanjem kontrolnih meritev (Jobsite Setup and Preparation for Pipe Jacking Works, 2010)

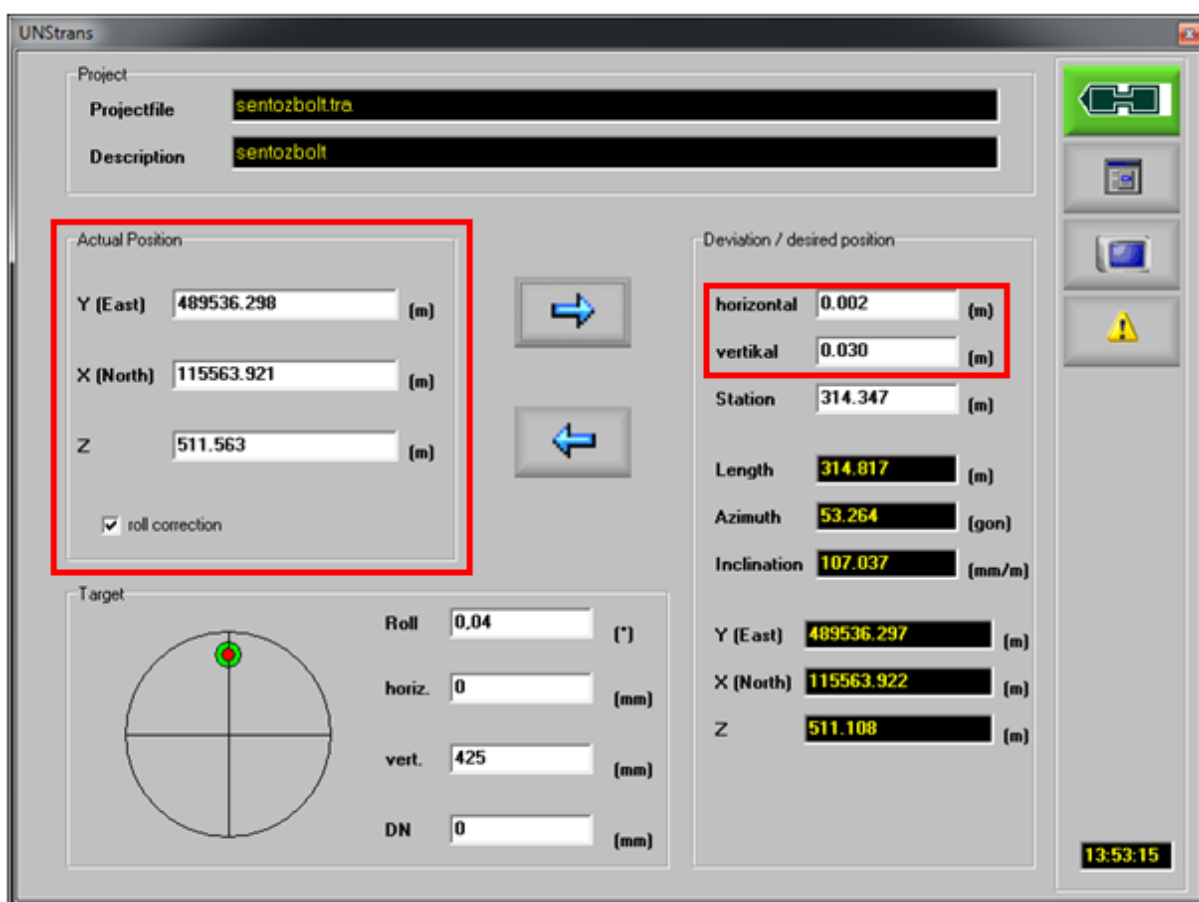
Zaradi omenjenega premikanja kompozicije vgrajenih potisnih cevi, v samem predoru ni mogoča vzpostavitev stabilnih točk, ki bi omogočale sprotno kontrolo meritev ter določitev položaja stojišča ob novi izmeri in hkrati navezavo za določitev položaja detajlnih točk. Zato je bilo potrebno vsako kontrolno izmero začeti na točki 5001 z navezavo na dane točke geodetske mreže (6001, 6002, 6003, 6004, 5002, 5003).

Poiskati pa smo morali tudi način sprotne kontrole meritev v predorski cevi. V ta namen smo s pomočjo prirejene vodne tehtnice (libele) – Slika 28, ki je imela v svojem centru vgrajen nastavek za namestitev mini reflektorja, vsakih 6 metrov (2 potisni cevi) izmerili horizontalno os že vgrajene potisne cevi (Slika 36). Izmerjeno horizontalno os smo nato primerjali s položajem horizontalne osi prejšnje kontrolne izmere. V kolikor so se položaji horizontalnih osi med seboj dobro ujemali, smo dobili potrditev, da so naše meritve ustrezne točnosti in natančnosti. V primeru, da se položaji horizontalnih osi med seboj ne bi dobro ujemali, bi celoten postopek kontrolne geodetske izmere ponavljali, dokler ne bi, pri vsaj dveh zaporednih kontrolnih meritvah, dobili primerljivih rezultatov.



Slika 37: Merjenje horizontalne osi vgrajene potisne cevi

Cilj vsake kontrolne izmere je bil natančno določiti položaj vrtnega stroja ter ugotoviti morebitno horizontalno in vertikalno odstopanje vrtnega stroja od projektirane osi vrtnja. V ta namen smo z zadnjega vmesnega stojišča, ki je bilo locirano približno 20 metrov za vrtnim strojem, izmerili odbojno nalepko nameščeno na girokompasu vrtnega stroja (Slika 31). Izmerjen položaj odbojne nalepke, izražen s koordinatami ( $Y$ ,  $X$ ,  $H$ ), smo nato vpisali v programsko orodje UNStrans proizvajalca Herrenknecht, ki nam je kot rezultat vrnil horizontalno in vertikalno odstopanje kontrolne točke vrtnega stroja od projektiranih vrednosti.



Slika 38: Izračun vertikalnega in horizontalnega odstopanja v programskem orodju UNStrans – mikropredor Šentožbolt (Operating Manual, 2010)

S pomočjo primerjave horizontalnega odstopanja kontrolne točke vrtnega stroja od projektirane vrednosti, ki jo kaže navigacijski sistem UNS in horizontalnega odstopanja kontrolne točke, ki ga določimo s pomočjo kontrolnih geodetskih meritev, smo izračunali kot drsenja vrtnega stroja (angl.: drift angle) – Slika 20, in ga, poleg izmerjenih koordinat lokacije vrtnega stroja, vpisali v navigacijski sistem vrtnega stroja UNS.

Podatki, ki jih vnesemo v navigacijski sistem vrtnega stroja UNS po opravljeni kontrolni geodetski izmeri:

- izmerjene koordinate lokacije vrtnega stroja ( $Y, X, H$ ),
- kot drsenja vrtnega stroja – »drift angle«.

The screenshot shows the 'Correction' window with the following data:

Field	Value	Unit
last gyro measurement Y	606002.563	m
last gyro measurement X	123998.971	m
last gyro measurement Z	9.731	m
Chainage, m	265.350	m
Drift	0.000	Gon
VER (mm)	-36	mm
HOR (mm)	+48	mm
Chainage, m (new)	265.353	m
calculate: Y (Izmerjene koordinate)	606002.543	m
calculate: X (Izmerjene koordinate)	123998.973	m
calculate: Z (Izmerjene koordinate)	9.689	m
calculate: Drift angle	-1.69	°
new actual position Y	606002.5432	m
new actual position X	123998.9745	m
new actual position Z	9.7391	m
new actual position Chainage, m	265.330	m
new actual position Chainage, m (new)	265.333	m
new actual position VER (mm)	-28	mm
new actual position HOR (mm)	+47	mm
new actual position Drift proposal	-0.003	Gon
new actual position Kot drsenja	0	Gon
Chainage adjustment	<input checked="" type="checkbox"/>	

Slika 39: Vnos izmerjenih koordinat lokacije vrtnega stroja in kota drsenja v navigacijski sistem stroja UNS (Operating Manual, 2010)

### **5.5.2 Ocena natančnosti kontrolnih geodetskih meritev v fazi vrtanja – mikropredor Zgornja Hudinja**

Mikropredor Zgornja Hudinja je bil prvi mikropredor, pri katerem smo opravljali kontrolno geodetsko izmero. Bil je hkrati tudi najdaljši izmed vseh mikropredorov, ter edini, pri katerem smo opravili izravnavo geodetske mreže. Zanimalo nas je, s kolikšno natančnostjo lahko z izbrano metodo dela, uporabljenim instrumentarijem in razporeditvijo danih točk določimo horizontalni položaj detajlnih točk. Še posebej nas je zanimala ocena natančnosti določitve horizontalnega položaja detajlne točke 8000 odbojne nalepke na vrtnem stroju.

Za izračun ocene natančnosti določitve horizontalnega položaja detajlnih točk smo uporabili podatke 15. kontrolne geodetske izmere, zadnje pred prebojem vrtnega stroja v izstopno gradbeno jamo. V času izmere se je vrtni stroj nahajal na 508 m od skupno 551 m projektirane dolžine predora, oziroma 43 m pred predvidenim prebojem v izstopno gradbeno jamo. Izmera v predorski cevi je potekala v obliki slepega poligona. V kolikor smo želeli doseči dobro vidnost med stojišči, smo morali, zaradi vertikalne ukrivljenosti predora (radij vertikalne ukrivljenosti je znašal 6308 metrov), med vstopno gradbeno jamo in vrtnim strojem vzpostaviti 13 stojišč, ki so bila med sabo razmaknjena približno 40 metrov.

Meritve 15. kontrolne geodetske izmere smo nato izravnali s pomočjo programa GEM. V skladu s pričakovanji smo ugotovili, da je natančnost določitve horizontalnega položaja najslabša pri detajlni točki 8000 (Preglednica 3).

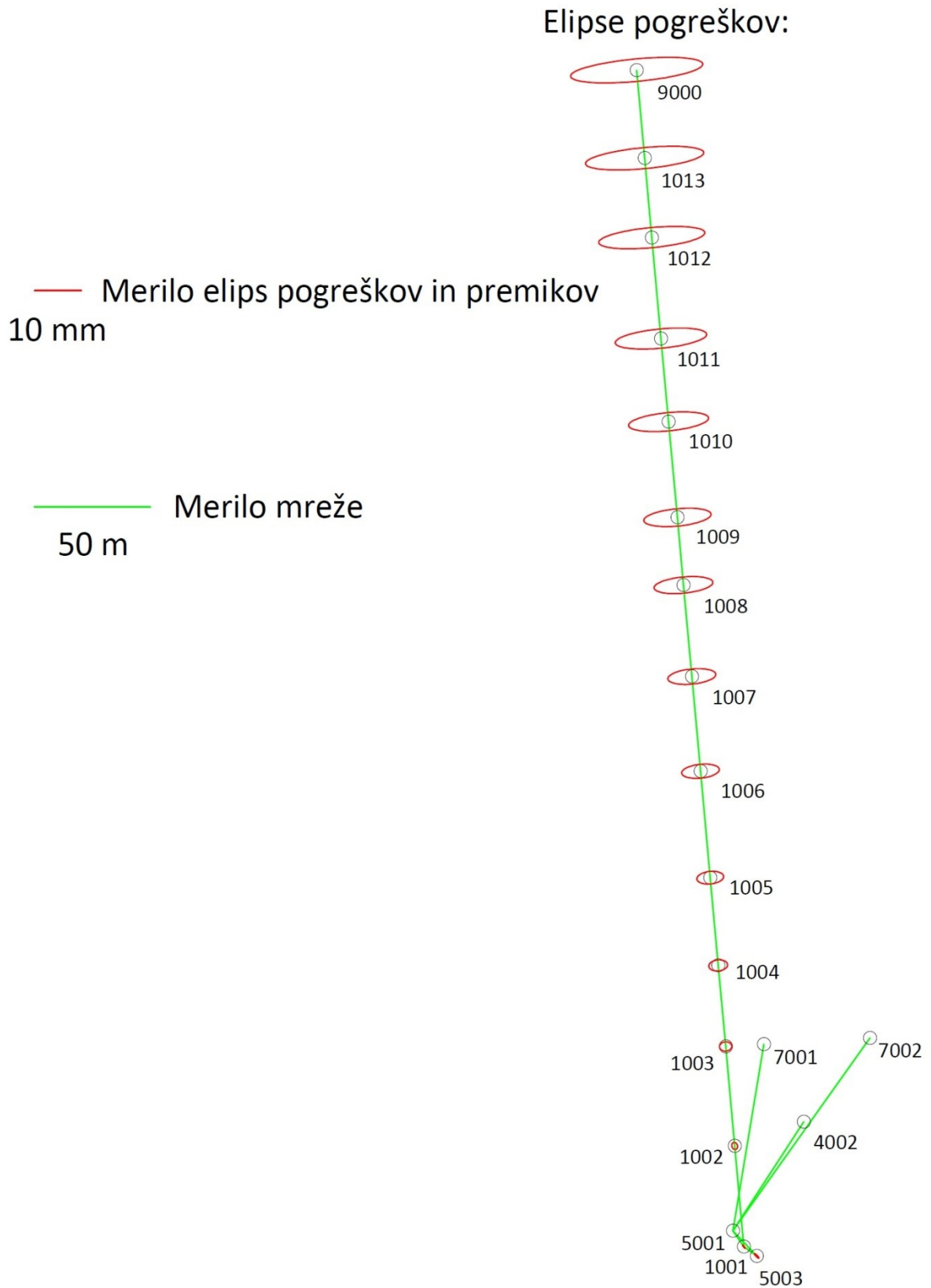
Preglednica 3: Določitev vzdolžnega in prečnega pogreška z uporabo izravnave 15. kontrolne geodetske izmere

<b>detajlna točka</b>	<b>vzdolžni pogrešek</b>	<b>prečni pogrešek</b>
8000	2,8 mm	14,3 mm

Več rezultatov izravnave omenjene izmere je prikazanih v Preglednici 4.

Preglednica 4: Analiza natančnosti meritev 15. kontrolne geodetske izmere - mikropredor Zgornja Hudinja

Standardna deviacija določitve položaja ( $\sigma_p$ )	7,6 mm
Največja standardna deviacija določitve položaja ( $\sigma_{p-max}$ )	14,6 mm
Standardna deviacija utežne enote ( $\hat{\sigma}_0$ )	0,91
Standardna deviacija smeri ( $\sigma_\alpha$ )	1,8"
Standardna deviacija dolžine ( $\sigma_D$ )	0,9 mm
Št. merjenj ( $n$ )	64
Št. neznank ( $u$ )	44
Št. nadštevilnih merjenj ( $r$ )	20



Slika 40: Elipse pogreškov po izravnavi 15. kontrolne geodetske izmere – mikropredor Zgornja Hudinja

Če bi izračunali natančnost določitve horizontalnega položaja detajlne točke 8000 po enačbah iz literature (Janković, 1981), bi za obravnavan mikropredor Zgornja Hudinja dobili naslednje rezultate:

Vzdolžni pogrešek na i-ti točki slepega poligona (Janković, 1981):

$$\sigma_{vi} = \sigma_S * \sqrt{n_i}$$

Prečni pogrešek na i-ti točki slepega poligona (Janković, 1981):

$$\sigma_{pi} = \frac{S}{\rho''} * \sqrt{n_i^2 \sigma_{ZS}^2 + \frac{1}{6} n_i (n_i - 1) (2n_i - 1) \sigma_{\beta}^2}$$

pri čemer je:

$n_i$  – število poligonskih stranic

$\sigma_S$  – standardni odklon opazovanj dolžin (mm)

$\sigma_{ZS}$  – standardni odklon začetne smeri (")

$\sigma_{\beta}$  – standardni odklon opazovanj lomnih kotov (")

S – povprečna dolžina poligonske stranice

Standardni odklon opazovanj dolžin  $\sigma_S$  ter standardna odklona začetne smeri  $\sigma_{ZS}$  in opazovanj lomnih kotov  $\sigma_{\beta}$  smo prevzeli iz podatkov o natančnosti tahimetra Leica TCRA 1103 +:

$$\sigma_S = 2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{ZS} = 3''$$

$$\sigma_{\beta} = 3''$$

Z uporabo zgornjih enačb smo izračunali vzdolžni in prečni pogrešek na detajlni točki 8000 (Preglednica 5).

Preglednica 5: Določitev vzdolžnega in prečnega pogreška z uporabo enačb iz literature

detajlna točka	vzdolžni pogrešek	prečni pogrešek
8000	7,5 mm	17,2 mm

Ugotovili smo, da se ti rezultati relativno kar dobro ujemajo z rezultati vzdolžnega in prečnega odstopanja, ki smo jih dobili z izravnavo 15. kontrolne geodetske izmere pri mikropredoru Zgornja Hudinja. Razlika, ki je nastala pri rezultatih vzdolžnega pogreška, je posledica tega, da smo pri izravnavi za a priori natančnost merjenja dolžin uporabili vrednost 1 mm, pri enačbah iz literature (Janković, 1981) pa smo uporabili vrednost 2 mm, kolikor znaša deklarirana vrednost proizvajalca tahimetra Leica TCRA 1103 +. Rezultati določitve horizontalnega položaja detajlne točke 8000, ki



smo jih dobili z izravnavo izhajajo iz dejanskih meritev, obremenjenih z danimi razmerami in vplivi, medtem, ko so rezultati enačb iz literature (Janković, 1981) zgolj teoretični. Vidimo lahko, da je bila določitev horizontalnega položaja detajlne točke 8000 v praksi boljša od teoretične predpostavke in seveda od zahtev naročnika.

## 5.6 Kontrolne geodetske meritve po zaključenem vrtanju

Po zaključku gradbenih del in po odstranitvi vrtalnega stroja iz izstopne gradbene jame, je bila naša naloga izmeriti celoten mikropredor in naročniku podati morebitna odstopanja izvedenega mikropredora od projektirane trase vrtanja. Postopek zaključne kontrolne geodetske izmere je bil v začetni fazi enak izmeri v fazi vrtanja. Tahimeter smo prisilno centralizirali, horizontalizirali in orientirali na točki 5001, iz katere smo se nato prestavili na točko 1001, ki je predstavljala prosto postavljeno stojišče v vstopni gradbeni jami. Iz te točke smo z merjenjem nadaljevali v predorsko cev. V predorski cevi je bilo potrebno izmeriti horizontalno in vertikalno os vseh vgrajenih potisnih cevi, kar smo storili s pomočjo prirejene vodne tehtnice (Slika 28). Po prihodu v izstopno gradbeno jamo smo meritve navezali na obstoječe točke geodetske mreže, ki so bile vzpostavljene v okolici izstopne gradbene jame. Za razliko prejšnjih kontrolnih geodetskih izmer je ta potekala v obliki zaključenega poligona. Rezultate izmere smo naročniku predali v obliki poročila, ki je vsebovalo preglednico, iz katere sta bili razvidni horizontalna in vertikalna natančnost preboja. Prav tako smo v programskem orodju AutoCAD izrisali vzdolžni profil izvedenega mikropredora s primerjavo projektirane trase. Za mikropredor Zgornja Hudinja in tudi druge mikropredore podajamo v Preglednici 6 horizontalno in vertikalno natančnost preboja.

Preglednica 6: Tehnični podatki izvedenih mikropredorov na trasi plinovoda M2/1 Rogaška Slatina – Trojane in M2/1 Trojane – Vodice

<b>mikropredor</b>	<b>Zgornja Hudinja</b>	<b>Brode</b>	<b>Ločica</b>	<b>Šentožbolt</b>
<b>horizontalna dolžina</b>	551 m	337 m	151 m	341 m
<b>radij vertikalne ukrivljenosti</b>	6308 m	1728 m	1770 m	2264 m
<b>datum prve kontrolne geodetske meritve</b>	31.5.2012	14.11.2012	20.2.2013	20.2.2014
<b>datum zadnje kontrolne geodetske meritve</b>	13.7.2012	28.1.2013	25.3.2013	8.4.2014
<b>horizontalna natančnost preboja</b>	+ 70 mm	+ 34 mm	+ 25 mm	+ 20 mm
<b>vertikalna natančnost preboja</b>	+ 50 mm	- 41 mm	- 45 mm	+ 22 mm

Ugotovimo lahko, da smo pri vseh mikropredorih usmerjali vrtalni stroj z natančnostjo, ki je presegla zahtevano natančnost preboja boljšo od 500 mm.



Slika 41: Preboj vrtalnega stroja v izstopno gradbeno jamo – mikropredor Zgornja Hudinja

## 6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo predstavili tehnologijo gradnje mikropredorov (mikrotuneliranje), ki omogoča izgradnjo večjih cevovodov brez izkopov. Potreba po takšni tehnologiji je zaradi razvoja urbanega naselja in skrbi za okolje vse večja, zato je to tehnologija, ki ji velja v prihodnosti nameniti več pozornosti. V primerjavi s klasično gradnjo cevovodov z izkopi je omenjena tehnologija bistveno bolj kompleksna in od izvajalca zahteva veliko mero znanja in izkušenj.

Ena izmed najpomembnejših in hkrati najbolj kompleksnih dejavnosti pri mikrotuneliranju so kontrolne geodetske izmere, s katerimi nadziramo navigacijski sistem vrtnega stroja in med izvajanjem del ugotavljamo točen položaj vrtnega stroja. Da bi zagotovili prihod vrtnega stroja na točno predvideno mesto v izstopni gradbeni jami, morajo biti te meritve opravljene z veliko mero skrbnosti in natančnosti. Za pridobitev kvalitetnih geodetskih meritev potrebujemo ustrezno mersko opremo, stabilno geodetsko mrežo in ustrezno metodo dela.

Na praktičnem primeru smo predstavili potek kontrolnih geodetskih izmer pri gradnji štirih mikropredorov za potrebe izgradnje prenosnega plinovoda M2/1 Rogaška Slatina – Trojane in M2/1 Trojane – Vodice. Ugotovili smo, da smo z izbrano mersko opremo in metodo dela lahko zadostili zahtevam naročnika po natančnosti preboja, ki mora biti boljša od 500 mm. V kolikor bi bila zahtevana višja natančnost preboja pa bi morali izboljšati natančnost kotnih in dolžinskih meritev. Kotne meritve bi izboljšali tako, da bi uporabili tahimeter s kotno natančnostjo  $\sigma_{\text{ISO-THEO}}$ : 1", izboljšali bi obliko mreže, pri vseh izmerah (tako pri izmeri osnovne geodetske mreže, kot pri merjenju v predorski cevi) pa bi smer, zenitno razdaljo in dolžino merili v vsaj 4 girusih in meritve nato izravnali. Natančnost merjenja dolžin bi izboljšali tako, da bi merili meteorološke parametre (temperatura zraka, zračni tlak, delni tlak vodne pare) in na podlagi izmerjenega izračunali meteorološke popravke. Predvsem pa bi morali skrajšati interval med kontrolnimi geodetskimi izmerami. V našem primeru so le-te potekale približno vsakih 40 m, priporočal pa bi, naj se kontrolne geodetske meritve realizirajo vsakih 20 metrov. Prav tako bi bilo nujno potrebno zagotoviti zadnjo kontrolno geodetsko izmero na oddaljenosti približno 15 metrov od predvidene točke preboja. Na takšni razdalji je še mogoče opraviti minimalne korekcije smeri vrtnanja.

## VIRI

Bricman, S. 2012. Tehnologije gradnje cevovoda in stroškovna primerjava. Diplomaska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo in ekonomsko poslovna fakulteta (samozaložba S. Bricman): 55 str.

Janković, M. 1981. Inženjerska geodezija II. Zagreb, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu: 391 str.

Jobsite Setup and Preparation for Pipe Jacking Works. 2010. Schwanau (Nemčija), Herrenknecht AG: 47 str.

Operating Manual. 2010. U.N.S. Universal Navigation System, ver. 4.26. Schwanau (Nemčija), Herrenknecht AG: 120 str.

ELS Electronic Laser system. 2014.

[http://microtunnel.com/47\\_els.htm](http://microtunnel.com/47_els.htm) (Pridobljeno 5. 5. 2014.)

ELS with Hydrostatic Water Leveling. 2014.

[http://microtunnel.com/48\\_els\\_hwl.htm](http://microtunnel.com/48_els_hwl.htm) (Pridobljeno 5. 5. 2014.)

Geo laser. 2014.

[http://www.geo-laser.de/shop/frontend/img\\_files/RL-80\\_77x77\\_ohne%20Strahl.jpg](http://www.geo-laser.de/shop/frontend/img_files/RL-80_77x77_ohne%20Strahl.jpg) (Pridobljeno 28. 4. 2014.)

Gyro Navigation System for Pipe Jacking. 2014.

[http://microtunnel.com/49\\_gns\\_p.htm](http://microtunnel.com/49_gns_p.htm) (Pridobljeno 5. 5. 2014.)

HOBAS GRP pipe for jacking in Epping. 2009. Trenchless Australasia.

[http://trenchless-australasia.com/news/hobas\\_grp\\_pipe\\_for\\_jacking\\_in\\_epping/001148/](http://trenchless-australasia.com/news/hobas_grp_pipe_for_jacking_in_epping/001148/) (Pridobljeno 27. 4. 2014.)

Leica GDF112, 2015.

[http://www.leica-geosystems.com/images/new/product\\_solution/GDF112-PIC-500x500.jpg](http://www.leica-geosystems.com/images/new/product_solution/GDF112-PIC-500x500.jpg)

(Pridobljeno 18. 2. 2015.)

Leica GPR121. 2015.

[http://www.leica-geosystems.com/images/new/product\\_solution/GPR121-PIC-500x500.jpg](http://www.leica-geosystems.com/images/new/product_solution/GPR121-PIC-500x500.jpg)

(Pridobljeno 18. 2. 2015.)

Leica TCRA 1103 Plus Robotic Total Station. 2015.

<http://constructionequipro.com/total-stations-accessories/200-leica-trca-1103-plus-robotic-total-station.html> (Pridobljeno 18. 2. 2015.)

Microtunneling Site Visit. 2013.

<https://cdn.evbus.com/eventlogos/67954/avn2000d3d2komprphoto28229-1.jpg> (Pridobljeno 7. 5. 2014.)

Mikro tuneliranje. 2014. Vilkoograd.

<http://www.vilkograd.com/dejavnosti/mikro-tuneliranje/> (Pridobljeno 3. 5. 2014.)

Pipe jacking. 2014. Herrenknecht.

<https://www.herrenknecht.com/en/innovation/know-how/pipe-jacking.html> (Pridobljeno 27. 4. 2014.)

Pipe Jacking & Microtunneling. 2014. ISTT.

<http://www.istt.com/guidelines/pipe-jacking-microtunneling> (Pridobljeno 27. 4. 2014.)

## **SEZNAM PRILOG**

PRILOGA A: Izravnava ravninske geodetske mreže – mikropredor Zgornja Hudinja

PRILOGA B: Izravnava višinske geodetske mreže – mikropredor Zgornja Hudinja

PRILOGA C: Izravnava meritev 15. kontrolne geodetske izmere – mikropredor Zgornja Hudinja

## PRILOGA A

### Izravnava ravninske geodetske mreže – mikropredor Zgornja Hudinja

Izravnava ravninske GEodetske Mreže  
Program: GEM4, ver.4.0, oktober 2005  
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 2.6.2012  
Čas : 17:05

Ime datoteke s podatki:	horVPETA.pod
Ime datoteke za rezultate:	horVPETA.gem
Ime datoteke z obvestili programa:	horVPETA.obv
Ime datoteke za risanje slike mreže:	horVPETA.ris
Ime datoteke za izračun premikov:	horVPETA.koo
Ime datoteke z utežmi:	horVPETA.ute
Ime datoteke za S-transformacijo:	horVPETA.str
Ime datoteke za ProTra:	horVPETA.ptr
Ime datoteke za izpis kovariančne matrike:	horVPETA.S11
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Hannover):	horVPETA.dah
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Ašanin):	horVPETA.daa
Ime datoteke za lastne vrednosti :	horVPETA.svd
Ime datoteke za kvadrate popravkov opazovanj:	horVPETA.pvv

Seznam koordinat DANIH točk  
=====

Točka	Y (m)	X (m)
5001	7000.0000	5000.0000
7001	6919.3495	5013.4387
7002	6916.6691	5059.2574

Vseh danih točk je : 3

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk  
=====

Točka	Y (m)	X (m)
4001	6960.9280	5002.1340
4002	6952.8900	5030.6220
4003	7037.0360	5003.3820
4004	6992.3200	4988.2830

Vseh novih točk je : 4

Pregled opazovanih smeri  
=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (stopinje)	W (")	Utež	Gr
1	5001	4001	0 0 0.0	0.000	1.00	1
2	5001	4002	29 53 52.1	0.000	1.00	1
3	5001	4003	171 39 18.1	0.000	1.00	1
4	5001	4004	300 7 3.2	0.000	1.00	1
5	5001	7001	0 0 0.0	0.000	1.00	2
6	5001	7002	25 57 25.5	0.000	1.00	2
7	4001	4002	0 0 0.0	0.000	1.00	1
8	4001	4003	104 49 5.2	0.000	1.00	1
9	4001	5001	108 53 6.3	0.000	1.00	1
10	4001	4004	129 34 10.4	0.000	1.00	1
11	4002	5001	0 0 0.0	0.000	1.00	1
12	4002	4004	14 0 54.1	0.000	1.00	1

13	4002	4001	41	13	9.4	0.000	1.00	1
14	4003	4004	0	0	0.0	0.000	1.00	1
15	4003	5001	13	26	23.3	0.000	1.00	1
16	4003	4001	17	43	6.8	0.000	1.00	1
17	4004	4001	0	0	0.0	0.000	1.00	1
18	4004	4002	23	13	32.0	0.000	1.00	1
19	4004	5001	99	26	1.7	0.000	1.00	1
20	4004	4003	137	31	48.4	0.000	1.00	1
21	4004	7001	169	54	43.0	0.000	1.00	2
22	4004	7002	194	3	50.0	0.000	1.00	2

## Pregled opazovanih dolžin

=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Dolžina	Du	Utež
23	5001	4001	39.1286	0.0000	1.00
24	5001	4002	56.1859	0.0000	1.00
25	5001	4003	37.1892	0.0000	1.00
26	5001	4004	14.0097	0.0000	1.00
27	5001	7001	81.7625	0.0000	1.00
28	5001	7002	102.2520	0.0000	1.00
29	4001	4002	29.5980	0.0000	1.00
30	4001	4003	76.1161	0.0000	1.00
31	4001	5001	39.1284	0.0000	1.00
32	4001	4004	34.3094	0.0000	1.00
33	4001	7001	43.0893	0.0000	1.00
34	4002	5001	56.1857	0.0000	1.00
35	4002	4004	57.8532	0.0000	1.00
36	4002	4001	29.5982	0.0000	1.00
37	4003	4004	47.1974	0.0000	1.00
38	4003	5001	37.1899	0.0000	1.00
39	4003	4001	76.1175	0.0000	1.00
40	4004	4001	34.3104	0.0000	1.00
41	4004	4002	57.8527	0.0000	1.00
42	4004	5001	14.0096	0.0000	1.00
43	4004	4003	47.1974	0.0000	1.00
44	4004	7001	77.1846	0.0000	1.00
45	4004	7002	103.7323	0.0000	1.00

Podana standardna deviacija utežne enote smeri (a-priori ocena): 2.00 sekund.

Podana standardna deviacija utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1.000 mm.

Število enačb popravkov je	45
- Število enačb popravkov za smeri je	22
- Število enačb popravkov za dolžine je	23
Število neznank je	15
- Število koordinatnih neznank je	8
- Število orientacijskih neznank je	7
Število nadštevilnih opazovanj je	30

## POPRAVKI približnih vrednosti

=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

Točka	Dy	Dx	Do	
	(m)	(m)	(")	
4001	0.0017	0.0000	-0.7	
4002	0.0012	-0.0025	-4.5	
4003	0.0000	0.0010	-4.4	
4004	-0.0005	-0.0003	1.1	1.2
5001			-1.8	0.0



IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
4001	6960.9297	5002.1340	0.0003	0.0014	0.0014	0.0014	0.0002	4
4002	6952.8912	5030.6195	0.0011	0.0017	0.0020	0.0020	0.0003	34
4003	7037.0360	5003.3830	0.0003	0.0013	0.0013	0.0013	0.0003	174
4004	6992.3195	4988.2827	0.0004	0.0003	0.0005	0.0005	0.0002	124

Standardna deviacija utežne enote /m0/ je 0.73959.  
 [pvv] = 16.4098259312  
 [xx] vseh neznank = 45.7920492410  
 [xx] samo koordinatnih neznank = 0.0000118253  
 Standardna deviacija aritmetične sredine /m\_arit/ je 0.00015.

Standardna deviacija smeri /m0\*m0\_smeri/ je 1.4792 sekund.  
 Standardna deviacija dolžin /m0\*m0\_dolžin/ je 0.7396 milimetrov.

Največja deviacija položaja /Mp\_max/ je 0.0020 metrov.  
 Najmanjša deviacija položaja /Mp\_min/ je 0.0005 metrov.  
 Standardna deviacija položaja /Mp\_sred/ je 0.0014 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz nezaokroženih koordinat.  
 Smeri in smerni koti so izpisani v stopinjah.

Dana točka: 5001		Y =	7000.0000	X =	5000.0000	Orientacijski kot = 273 7 33.4		
Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina	
4001	1	1.00	0 0 0.0	273 7 33.4	273 7 34.8	1.5	39.129	
4002	1	1.00	29 53 52.1	303 1 25.4	303 1 22.3	-3.2	56.185	
4003	1	1.00	171 39 18.1	84 46 51.4	84 46 51.2	-0.2	37.190	
4004	1	1.00	300 7 3.2	213 14 36.5	213 14 38.5	2.0	14.010	
Nova točka: 4001		Y =	6960.9297	X =	5002.1340	Orientacijski kot = 344 14 28.5		
Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina	
4002	1	1.00	0 0 0.0	344 14 28.5	344 14 28.6	0.2	29.598	
4003	1	1.00	104 49 5.2	89 3 33.6	89 3 35.2	1.6	76.117	
5001	1	1.00	108 53 6.3	93 7 34.8	93 7 34.8	0.0	39.129	
4004	1	1.00	129 34 10.4	113 48 38.9	113 48 37.1	-1.8	34.310	
Nova točka: 4002		Y =	6952.8912	X =	5030.6195	Orientacijski kot = 123 1 20.5		
Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina	
5001	1	1.00	0 0 0.0	123 1 20.5	123 1 22.3	1.7	56.185	
4004	1	1.00	14 0 54.1	137 2 14.6	137 2 14.2	-0.5	57.853	
4001	1	1.00	41 13 9.4	164 14 29.9	164 14 28.6	-1.3	29.598	
Nova točka: 4003		Y =	7037.0360	X =	5003.3830	Orientacijski kot = 251 20 27.6		
Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina	
4004	1	1.00	0 0 0.0	251 20 27.6	251 20 26.4	-1.2	47.197	
5001	1	1.00	13 26 23.3	264 46 50.9	264 46 51.2	0.3	37.190	
4001	1	1.00	17 43 6.8	269 3 34.3	269 3 35.2	0.9	76.117	
Nova točka: 4004		Y =	6992.3195	X =	4988.2827	Orientacijski kot = 293 48 38.5		
Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina	
4001	1	1.00	0 0 0.0	293 48 38.5	293 48 37.1	-1.4	34.310	
4002	1	1.00	23 13 32.0	317 2 10.5	317 2 14.2	3.7	57.853	

5001	1	1.00	99 26	1.7	33 14	40.2	33 14	38.5	-1.7	14.010
4003	1	1.00	137 31	48.4	71 20	26.9	71 20	26.4	-0.5	47.197

							Orientacijski kot = 119 6 34.3			
Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm.	kot	Popravek	Dolžina		
7001	2	1.00	169 54	43.0	289 1	17.3	289 1	16.9	-0.4	77.185
7002	2	1.00	194 3	50.0	313 10	24.3	313 10	24.7	0.4	103.732

## PREGLED merjenih DOLŽIN

=====

Dolžine so izračunane iz nezaokroženih koordinat  
Multiplikacijska konstanta ni bila izračunana ( = 1).  
Adicijska konstanta ni bila izračunana ( = 0 metra).

Od točke	Do točke	Utež dolž	Merjena dolžina	Modulirana 'Mer.*Mk+Ak	Definitivna Proj.-Du	Popravek Mod.dolž.	Projekcij. iz koo.
5001	4001	1.000	39.1286	39.1286	39.1286	0.0000	39.1286
5001	4002	1.000	56.1859	56.1859	56.1853	-0.0006	56.1853
5001	4003	1.000	37.1892	37.1892	37.1902	0.0010	37.1902
5001	4004	1.000	14.0097	14.0097	14.0102	0.0005	14.0102
5001	7001	1.000	81.7625	81.7625	81.7625	0.0000	81.7625
5001	7002	1.000	102.2520	102.2520	102.2520	0.0000	102.2520
4001	4002	1.000	29.5980	29.5980	29.5980	0.0000	29.5980
4001	4003	1.000	76.1161	76.1161	76.1166	0.0005	76.1166
4001	5001	1.000	39.1284	39.1284	39.1286	0.0002	39.1286
4001	4004	1.000	34.3094	34.3094	34.3101	0.0007	34.3101
4001	7001	1.000	43.0893	43.0893	43.0895	0.0002	43.0895
4002	5001	1.000	56.1857	56.1857	56.1853	-0.0004	56.1853
4002	4004	1.000	57.8532	57.8532	57.8532	0.0000	57.8532
4002	4001	1.000	29.5982	29.5982	29.5980	-0.0002	29.5980
4003	4004	1.000	47.1974	47.1974	47.1973	-0.0001	47.1973
4003	5001	1.000	37.1899	37.1899	37.1902	0.0003	37.1902
4003	4001	1.000	76.1175	76.1175	76.1166	-0.0009	76.1166
4004	4001	1.000	34.3104	34.3104	34.3101	-0.0003	34.3101
4004	4002	1.000	57.8527	57.8527	57.8532	0.0005	57.8532
4004	5001	1.000	14.0096	14.0096	14.0102	0.0006	14.0102
4004	4003	1.000	47.1974	47.1974	47.1973	-0.0001	47.1973
4004	7001	1.000	77.1846	77.1846	77.1845	-0.0001	77.1845
4004	7002	1.000	103.7323	103.7323	103.7323	0.0000	103.7323

## PRILOGA B

### Izravnava višinskegeodetske mreže – mikropredor Zgornja Hudinja

Izravnava VIŠINSKE geodetske Mreže  
Program: VIM, ver.5.0, mar. 07  
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: vis.pod  
Ime datoteke za rezultate: vis.rez  
Ime datoteke za deformacijsko analizo: vis.def  
Ime datoteke za S-transformacijo: vis.str

Ime datoteke za izračun ocene natančnosti premika: vis.koo

Datum: 1.6.2012  
Čas: 22:27:48

#### NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

```
=====
Reper          Nadm.viš.   Opomba
5001           244.1200   Dani reper
4001           247.9800   Novi reper
4002           250.8100   Novi reper
4003           242.9200   Novi reper
4004           246.2100   Novi reper
```

Število vseh reperjev = 5  
Število danih reperjev = 1  
Število novih reperjev = 4

#### MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

```
=====
Reper          Reper      Merjena     Merjena
zadaj          spredaj    viš.razlika dolžina
5001           4001       3.8550      0.0260
5001           4002       6.6930      0.0180
5001           4003       -1.2000     0.0270
5001           4004       2.0890      0.0710
4001           4002       2.8380      0.0340
4001           4003       -5.0550     0.0130
4001           5001       -3.8560     0.0260
4001           4004       -1.7670     0.0290
4002           5001       -6.6950     0.0180
4002           4004       -4.6050     0.0170
4002           4001       -2.8380     0.0340
4003           4004       3.2870      0.0210
4003           5001       1.1980      0.0270
4003           4001       5.0530      0.0130
4004           4001       1.7660      0.0290
4004           4002       4.6040      0.0170
4004           5001       -2.0900     0.0710
4004           4003       -3.2880     0.0210
```

Število opazovanj = 18

Vektor normalnih enačb je zaseden 0.00 %.

## ENAAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Koeficienti			Utež
		a1	a2	f	
1 5001	4001	0.	1.	0.0050	38.4615
2 5001	4002	0.	1.	-0.0030	55.5556
3 5001	4003	0.	-1.	0.0000	37.0370
4 5001	4004	0.	1.	0.0010	14.0845
5 4001	4002	-1.	1.	-0.0080	29.4118
6 4001	4003	1.	-1.	0.0050	76.9231
7 4001	5001	1.	0.	0.0040	38.4615
8 4001	4004	1.	-1.	0.0030	34.4828
9 4002	5001	1.	0.	-0.0050	55.5556
10 4002	4004	1.	-1.	-0.0050	58.8235
11 4002	4001	1.	-1.	-0.0080	29.4118
12 4003	4004	-1.	1.	0.0030	47.6190
13 4003	5001	-1.	0.	0.0020	37.0370
14 4003	4001	-1.	1.	0.0070	76.9231
15 4004	4001	-1.	1.	0.0040	34.4828
16 4004	4002	-1.	1.	-0.0040	58.8235
17 4004	5001	1.	0.	0.0000	14.0845
18 4004	4003	1.	-1.	0.0020	47.6190

## IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika
2 5001	4002	6.6930	0.0008	6.6938
3 5001	4003	-1.2000	0.0014	-1.1986
4 5001	4004	2.0890	0.0001	2.0891
5 4001	4002	2.8380	0.0002	2.8382
6 4001	4003	-5.0550	0.0009	-5.0541
7 4001	5001	-3.8560	0.0005	-3.8555
8 4001	4004	-1.7670	0.0006	-1.7664
9 4002	5001	-6.6950	0.0012	-6.6938
10 4002	4004	-4.6050	0.0004	-4.6046
11 4002	4001	-2.8380	-0.0002	-2.8382
12 4003	4004	3.2870	0.0007	3.2877
13 4003	5001	1.1980	0.0006	1.1986
14 4003	4001	5.0530	0.0011	5.0541
15 4004	4001	1.7660	0.0004	1.7664
16 4004	4002	4.6040	0.0006	4.6046
17 4004	5001	-2.0900	0.0009	-2.0891
18 4004	4003	-3.2880	0.0003	-3.2877

Standardna deviacija utežne enote,  $m_0 = 0.00580$

Izračunano odstopanje = 11.0 mm ( $s = 0.512$  km).

Dopustni odstopanji v sklenjeni niv. zanki:

- mreža NVM  $f = \pm 1 \cdot \text{SQRT}(s+0.04 \cdot s^2) = 0.7$  mm  
 - mestna niv. mreža 1. reda  $f = \pm 2 \cdot \text{SQRT}(s+0.04 \cdot s^2) = 1.4$  mm

## IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
4001	247.9800	-0.0045	247.9755	0.0004
4002	250.8100	0.0038	250.8138	0.0004
4003	242.9200	0.0014	242.9214	0.0004
4004	246.2100	-0.0009	246.2091	0.0005

## IZRAČUN OBČUTLJIVOSTI VIŠINSKE MREŽE

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Q <sub>ll</sub>	Sred.pog. viš.razl.	Q <sub>vv</sub>	r
1	5001	4001	0.0052	0.0004	0.0208	0.7991
2	5001	4002	0.0052	0.0004	0.0128	0.7092
3	5001	4003	0.0057	0.0004	0.0213	0.7898
4	5001	4004	0.0061	0.0005	0.0649	0.9140
5	4001	4002	0.0058	0.0004	0.0282	0.8296
6	4001	4003	0.0041	0.0004	0.0089	0.6843
7	4001	5001	0.0052	0.0004	0.0208	0.7991
8	4001	4004	0.0051	0.0004	0.0239	0.8225
9	4002	5001	0.0052	0.0004	0.0128	0.7092
10	4002	4004	0.0051	0.0004	0.0119	0.7011
11	4002	4001	0.0058	0.0004	0.0282	0.8296
12	4003	4004	0.0052	0.0004	0.0158	0.7505
13	4003	5001	0.0057	0.0004	0.0213	0.7898
14	4003	4001	0.0041	0.0004	0.0089	0.6843
15	4004	4001	0.0051	0.0004	0.0239	0.8225
16	4004	4002	0.0051	0.0004	0.0119	0.7011
17	4004	5001	0.0061	0.0005	0.0649	0.9140
18	4004	4003	0.0052	0.0004	0.0158	0.7505

Skupno število nadštevilnosti je 14.00000000.

Povprečno število nadštevilnosti je 0.77777778.

**PRILOGA C****Izravnava meritev 15. kontrolne geodetske izmere – mikropredor Zgornja Hudinja**

Izravnava ravninske GEodetske Mreže  
 Program: GEM4, ver.4.0, oktober 2005  
 Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 2.2.2015  
 Čas : 23:38

Ime datoteke s podatki:	podatki GEM.pod
Ime datoteke za rezultate:	podatki GEM.gem
Ime datoteke z obvestili programa:	podatki GEM.obv
Ime datoteke za risanje slike mreže:	podatki GEM.ris
Ime datoteke za izračun premikov:	podatki GEM.koo
Ime datoteke z utežmi:	podatki GEM.ute
Ime datoteke za S-transformacijo:	podatki GEM.str
Ime datoteke za ProTra:	podatki GEM.ptr
Ime datoteke za izpis kovariančne matrike:	podatki GEM.S11
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Hannover):	podatki GEM.dah
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Ašanin):	podatki GEM.daa
Ime datoteke za lastne vrednosti :	podatki GEM.svd
Ime datoteke za kvadrate popravkov opazovanj:	podatki GEM.pvv

Seznam koordinat DANIH točk  
 =====

Točka	Y (m)	X (m)
5001	7000.0000	5000.0000
7001	6919.3500	5013.4390
7002	6916.6690	5059.2570
4002	6952.8910	5030.6190

Vseh danih točk je : 4

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk  
 =====

Točka	Y (m)	X (m)
5003	7010.8310	5010.3040
1001	7006.8040	5004.7730
1002	6963.3000	5000.7890
1003	6920.3130	4996.9070
1004	6885.2840	4993.7010
1005	6847.3800	4990.2360
1006	6801.3870	4986.0270
1007	6760.4650	4982.2730
1008	6720.9450	4978.6690
1009	6691.7080	4976.0440
1010	6650.3580	4972.2340
1011	6614.4250	4968.9410
1012	6570.8000	4964.9680
1013	6536.4610	4961.8640
9000	6498.4440	4958.4260

Vseh novih točk je : 15

## Pregled opazovanih smeri

=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (stopinje)	W (")	Utež	Gr
1	5001	7001	0 0 0.0	0.000	1.00	1
2	5001	4002	23 33 35.0	0.000	1.00	1
3	5001	7002	25 57 20.0	0.000	1.00	1
4	5001	5003	126 57 56.0	0.000	1.00	1
5	5001	1001	135 29 23.0	0.000	1.00	1
6	1001	5001	0 0 0.0	0.000	1.00	1
7	1001	1002	29 49 1.0	0.000	1.00	1
8	1001	5003	161 5 43.0	0.000	1.00	1
9	1002	1001	0 0 0.0	0.000	1.00	1
10	1002	1003	180 4 19.0	0.000	1.00	1
11	1003	1002	0 0 0.0	0.000	1.00	1
12	1003	1004	179 55 48.0	0.000	1.00	1
13	1004	1003	0 0 0.0	0.000	1.00	1
14	1004	1005	180 0 26.0	0.000	1.00	1
15	1005	1004	0 0 0.0	0.000	1.00	1
16	1005	1006	179 59 36.0	0.000	1.00	1
17	1006	1005	0 0 0.0	0.000	1.00	1
18	1006	1007	179 59 18.0	0.000	1.00	1
19	1007	1006	0 0 0.0	0.000	1.00	1
20	1007	1008	180 1 47.0	0.000	1.00	1
21	1008	1007	0 0 0.0	0.000	1.00	1
22	1008	1009	180 4 54.0	0.000	1.00	1
23	1009	1008	0 0 0.0	0.000	1.00	1
24	1009	1010	179 51 52.0	0.000	1.00	1
25	1010	1009	0 0 0.0	0.000	1.00	1
26	1010	1011	180 1 42.0	0.000	1.00	1
27	1011	1010	0 0 0.0	0.000	1.00	1
28	1011	1012	180 1 58.0	0.000	1.00	1
29	1012	1011	0 0 0.0	0.000	1.00	1
30	1012	1013	180 2 25.0	0.000	1.00	1
31	1013	1012	0 0 0.0	0.000	1.00	1
32	1013	9000	179 59 50.0	0.000	1.00	1

## Pregled opazovanih dolžin

=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Dolžina	Du	Utež
33	5001	7001	81.7620	0.0000	1.00
34	5001	4002	56.1850	0.0000	1.00
35	5001	7002	102.2520	0.0000	1.00
36	5001	5003	14.9490	0.0000	1.00
37	5001	1001	8.3110	0.0000	1.00
38	1001	5001	8.3110	0.0000	1.00
39	1001	1002	43.6860	0.0000	1.00
40	1001	5003	6.8420	0.0000	1.00
41	1002	1001	43.6860	0.0000	1.00
42	1002	1003	43.1620	0.0000	1.00
43	1003	1002	43.1620	0.0000	1.00
44	1003	1004	35.1750	0.0000	1.00
45	1004	1003	35.1750	0.0000	1.00
46	1004	1005	38.0620	0.0000	1.00
47	1005	1004	38.0620	0.0000	1.00
48	1005	1006	46.1860	0.0000	1.00
49	1006	1005	46.1860	0.0000	1.00
50	1006	1007	41.0930	0.0000	1.00
51	1007	1006	41.0930	0.0000	1.00
52	1007	1008	39.6840	0.0000	1.00
53	1008	1007	39.6840	0.0000	1.00
54	1008	1009	29.3550	0.0000	1.00
55	1009	1008	29.3550	0.0000	1.00
56	1009	1010	41.5250	0.0000	1.00
57	1010	1009	41.5250	0.0000	1.00
58	1010	1011	36.0840	0.0000	1.00
59	1011	1010	36.0840	0.0000	1.00
60	1011	1012	43.8050	0.0000	1.00
61	1012	1011	43.8050	0.0000	1.00
62	1012	1013	34.4790	0.0000	1.00
63	1013	1012	34.4790	0.0000	1.00
64	1013	9000	38.1720	0.0000	1.00

Podana standardna deviacija utežne enote smeri (a-priori ocena): 2.00 sekund.

Podana standardna deviacija utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1.000 mm.

Število enačb popravkov je	64
- Število enačb popravkov za smeri je	32
- Število enačb popravkov za dolžine je	32
Število neznank je	44
- Število koordinatnih neznank je	30
- Število orientacijskih neznank je	14
Število nadštevilnih opazovanj je	20



POPRAVKI približnih vrednosti  
=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

Točka	Dy (m)	Dx (m)	Do (")
5003	-0.0009	-0.0001	
1001	0.0007	0.0002	-7.5
1002	0.0006	0.0015	5.6
1003	0.0005	0.0026	3.6
1004	0.0009	0.0030	4.0
1005	0.0008	0.0040	4.0
1006	0.0000	0.0044	3.7
1007	0.0007	0.0056	3.5
1008	0.0006	0.0059	4.4
1009	0.0002	0.0069	4.1
1010	0.0003	0.0071	1.3
1011	-0.0002	0.0073	2.0
1012	0.0003	0.0079	5.7
1013	0.0002	0.0094	7.8
9000	0.0002	0.0107	
5001			-0.4

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti  
=====

Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
5003	7010.8301	5010.3039	0.0005	0.0005	0.0007	0.0007	0.0001	45
1001	7006.8047	5004.7732	0.0004	0.0003	0.0005	0.0005	0.0001	53
1002	6963.3006	5000.7905	0.0008	0.0006	0.0010	0.0008	0.0006	72
1003	6920.3135	4996.9096	0.0010	0.0013	0.0017	0.0013	0.0010	175
1004	6885.2849	4993.7040	0.0012	0.0020	0.0024	0.0020	0.0012	174
1005	6847.3808	4990.2400	0.0014	0.0029	0.0032	0.0029	0.0014	174
1006	6801.3870	4986.0314	0.0015	0.0041	0.0043	0.0041	0.0015	174
1007	6760.4657	4982.2786	0.0017	0.0052	0.0055	0.0052	0.0016	174
1008	6720.9456	4978.6749	0.0019	0.0064	0.0066	0.0064	0.0018	174
1009	6691.7082	4976.0509	0.0020	0.0073	0.0075	0.0073	0.0019	174
1010	6650.3583	4972.2411	0.0021	0.0086	0.0089	0.0087	0.0020	175
1011	6614.4248	4968.9483	0.0023	0.0099	0.0101	0.0099	0.0021	175
1012	6570.8003	4964.9759	0.0024	0.0115	0.0117	0.0115	0.0022	175
1013	6536.4612	4961.8734	0.0026	0.0128	0.0130	0.0128	0.0023	175
9000	6498.4442	4958.4367	0.0028	0.0143	0.0146	0.0143	0.0024	175

Standardna deviacija utežne enote /m0/ je 0.90893.  
[pvv] = 16.5232154887  
[xx] vseh neznank = 294.1242358835  
[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0005395291  
Standardna deviacija aritmetične sredine /m\_arit/ je 0.00016.

Standardna deviacija smeri /m0\*m0\_smeri/ je 1.8179 sekund.  
Standardna deviacija dolžin /m0\*m0\_dolžin/ je 0.9089 milimetrov.

Največja deviacija položaja /Mp\_max/ je 0.0146 metrov.  
Najmanjša deviacija položaja /Mp\_min/ je 0.0005 metrov.  
Standardna deviacija položaja /Mp\_sred/ je 0.0076 metrov.



