

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



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

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

V zbirki je izvirna različica izdajatelja.

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

University  
of Ljubljana  
Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



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

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

This is a publisher's version PDF file.

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

Koželj, M, Slatinšek, J., Ambrožič, T. 2015. Jamomerske meritve pri gradnji jaška NOP II = Mine surveillance measurements during the building of NOP II shaft. Geodetski vestnik 59, 1: 13-27.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.01.013-027>  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5183/>

Datum arhiviranja / Archiving Date: 6-7-2015

# JAMOMERSKE MERITVE PRI GRADNJI JAŠKA NOP II

# MINE SURVEILLANCE MEASUREMENTS DURING THE BUILDING OF NOP II SHAFT

*Matjaž Koželj, Jure Slatinšek, Tomaž Ambrožič*

UDK: 528.3:622.016.2  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.04  
Prispelo: 29.1.2014  
Sprejeto: 19.2.2015

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2015.01.013-027  
PROFESSIONAL ARTICLE  
Received: 29.1.2014  
Accepted: 19.2.2015

## IZVLEČEK

Premogovnik Velenje gradi nov jašek NOP II za izvoz premoga iz jame. Ustje jaška, ki ga zakoličimo na površini, in dno jaška, ki ga pričakujemo v projektirani točki v jami, morata biti v istem prostorskem koordinatnem sistemu. Izhodišče izmere so izbrane točke na površini, ki so stabilne, oziroma zelo dobro poznamo njihovo smer in hitrost premikanja v času. Prenos koordinatnega sistema iz površine v jamo lahko izvedemo z meritvami po različnih metodah. Rezultat meritev in izračunov so koordinate točk v jami, ki so v istem koordinatnem sistemu kot točke na površini. Iz njih lahko brez večjih težav zakoličimo projektirani jašek NOP II. Na začetku naloge smo si zastavili cilj, da bi čim bolj natančno določili koordinate izhodiščnih točk. Na podlagi analize dobljenih rezultatov lahko sklenemo, da smo vsako fazo dela izvedli zelo dobro in dosegli zastavljeni cilj.

## ABSTRACT

The Velenje Coal Mine is building a new shaft NOP II for the transportation of coal from the mine. The entrance of the shaft, which is determined on the surface, and the bottom of the shaft, which is expected in the point determined at the bottom of the shaft, must be within the same vertical and horizontal coordinate system. The starting points for the measurements are the points determined on the surface, which are stable or have a determined direction and velocity. The transfer of the coordinate system from the surface into the shaft can be carried out with the measurements using various methods. The results of the measurements and the calculations are the coordinate points in the shaft that are in the same coordinate system as those on the surface. They are very suitable for the determination of the designed NOP II shaft. At the beginning of this task, we planned to determine the coordinates of the starting points with a maximum precision. Based on the results of an analysis, we can conclude that we performed each phase of the work very well and achieved the tasks set.

## KLJUČNE BESEDE

simulacije, jamomerske meritve, grezenje, izravnava, analiza rezultatov

## KEY WORDS

simulations, mine surveying, mechanical plumbing, adjustment, analysis of the results

## 1 UVOD

Pri pridobivanju premoga v Premogovniku Velenje smo pred leti načrtali smernice za optimiranje proizvodnega procesa z odkopavanjem premoga na dveh odkopih obenem. Odkopa sta locirana v jamah Preloge in Pesje ter v severozahodnem in srednjem delu premoške kadunje. Večji del prog za odvoz premoga iz jame je v vzhodnem delu premoške kadunje, saj so bile izdelane v času, ko je bila glavna odkopavanja premoga v tem delu premoškega sloja. Zaradi racionalizacije odvoza premoga iz jame je bila sprejeta odločitev o gradnji izvoznega jaška, zaradi česar se bodo transportne poti skrajšale za več kot 4 kilometre.

Ustje jaška na površini in dno jaška v jami morata biti v istem koordinatnem sistemu, zato smo v ta namen izvedli vsa dela za doseg cilja naloge. Povezava jame na površino se v Premogovniku Velenje izvaja vsakih nekaj desetletij, zato je bilo treba vzpostaviti optimalno obliko mreže geodetskih točk, izbrati primerno mersko opremo, pomožni pribor, način stabilizacije in signalizacije točk, določiti vrste meritev in vse meritve izvesti s kar največjo natančnostjo. Dobljene terestrične meritve je bilo treba ustrezno obdelati.

Odločili smo se, da bomo jamo povezali s površino po dveh poteh: s prostorskim poligonom po poševnem jamskem prostoru, imenovanem odvozni nadkop Pesje, ter z grezenjem in merjenjem globine v jašku NOP.

Na površini smo vzpostavili mrežo geodetskih točk, ki smo jim z natančno izmero GNSS določili izhodiščne koordinate. Vzpostavljeno mrežo točk smo z izmero GNSS v preteklosti večkrat ponovili tako, da smo določili, katera izmed merjenih točk je stabilna, oziroma za nestabilne točke določili njihovo premikanje v času. Terestrične meritve na površini smo po eni strani končali z navezavo grezila z oznako *NOPM* na odvozišču jaška NOP (vrh jaška), po drugi strani pa smo v mrežo vključili poligonski točki *KLAS1* in *KLAS2* na vrhu nadkopa Pesje, s poligonom nadaljevali po odvoznem nadkopu Pesje ter ga končali z navezavo grezila na dovozišču v jašku NOP (dno jaška). Tako smo dobili sklenjeno zanko v položajnem smislu.

V višinskem smislu smo nivelmanske meritve začeli na izhodiščnem reperju *PEPA* in po eni strani končali nivelmanski poligon prek točk *NOP* in *PP* na reperju *JEK* na odvozišču jaška NOP, po drugi strani pa smo iz točk *NOP* in *PP* s trigonometričnim višinerstvom prek poligonskih točk po odvoznem nadkopu Pesje in srednjem prekopu končali višinski poligon na reperju *RJ27*, ki je blizu dovozišča v jašku NOP. Višinsko zanko smo sklenili z merjenjem globine v jašku NOP ter navezavo na reper *JEK* na površini in reper *RJ27* v jami.

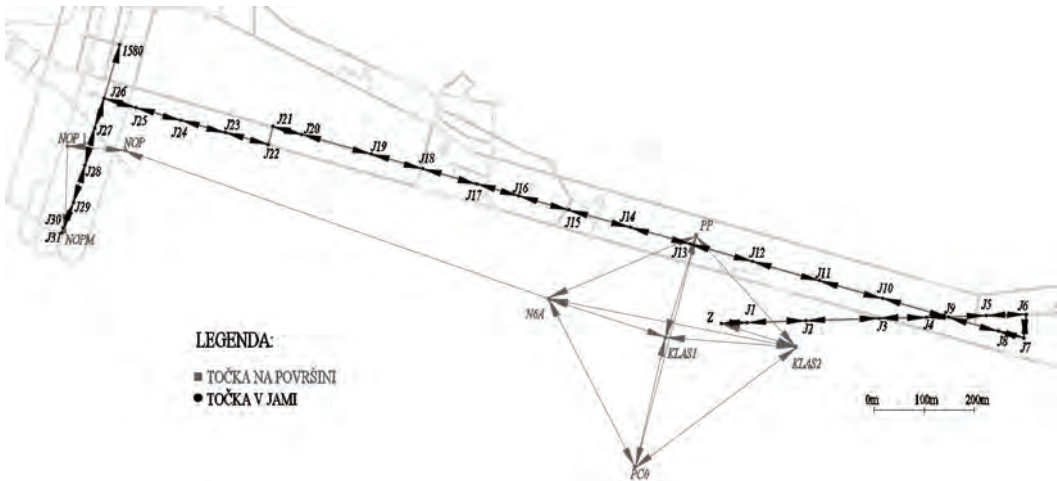
V sklenjeni položajni in višinski zanki imamo nadštevilo število meritev, zato je mogoče odkriti morebitne grobe pogoške med merjenji in mogoča je izravnava meritev, s katero dobimo optimalne vrednosti koordinat točk in pripadajoče natančnosti izračuna koordinat točk.

Na podlagi dobljenih rezultatov smo opravili analizo, s katero smo dokazali, da je bila vsaka faza dela izvedena zelo dobro.

## 2 SIMULACIJA MERITEV IN DOLOČITEV OPTIMALNEGA POLOŽAJA POLIGONSKIH TOČK V JAMI

Oblika geodetske mreže močno vpliva na natančnost določitve koordinat točk. Na površini je položaj točk odvisen od konfiguracije terena in objektov na površini. V jami pa je položaj točk odvisen od velikosti jamskih prostorov, geometrije križišč, pregibov jamskih prostorov in razporeditve opreme v njih.

Na površini smo izmed točk opazovalnih mrež Premogovnika Velenja izbrali tiste, ki so v bližini ustja nadkopa Pesje. Vse so redno opazovane s terestričnimi metodami in metodami GNSS, poznamo tudi njihov vektor hitrosti premika (Stopar in Sterle, 2011, 2012; Vrabc, Pavlovič Prešeren in Stopar, 2006). Kot najbolj primerne za izvedbo obravnavane naloge smo izbrali točki *PP* in *PCO* iz opazovalne mreže Pesje ter točki *NOP* in *N64* iz opazovalne mreže Premogovnika Velenje. Dodali smo jim še tri točke. Točka *NOP1* je namenjena navezavi geodetske mreže na površini od točke *NOP* do grezila *NOPM* v jašku *NOP*, točki *KLAS1* in *KLAS2* pa sta namenjeni povezavi geodetskih točk na površini s poligonskimi točkami v odvoznem nadkopu Pesje (slika 1). Točke na površini in v jami nam bodo izhodiščne točke pri zakoličbi ter določitvi položajnih koordinat grezil v novem jašku *NOP II*.



Slika 1: Položaj merskih točk na površini in v jami.

Za stabilizacijo poligonskih točk v jami smo izbrali jamske prostore, v katerih je kljub obstoječi opremi (zračilna vrata, transportni trakovi, presipna mesta, žlote za prezračevanje ...) mogoče izvajati meritve. Poskušali smo upoštevati pravilo enako dolgih vizur in se poskušali izogniti ostrim kotom. Vpliv geometrije poligona smo sproti analizirali s simulacijami meritev. Simulirane meritve smo izravnali po metodi najmanjših kvadratov, tako kot pozneje dejansko opravljene meritve. Po več poskusih simuliranja meritev za različne geometrije poligona smo dobili končno obliko poligona v jami. V izbrani obliki poligona je bila natančnost določitve koordinat poligonskih točk največja. Tak poligon smo pozneje realizirali z meritvami. Na sliki 1 je prikazana tlorisna situacija merskih točk za povezavo jame na površino. V jami smo v stropu jamske proge na nekaj lokacijah vzpostavili baze, ki jih lahko uporabimo pri prihodnjih meritvah, tudi tistih za gradnjo jaška *NOP II*. Baze v jami so točke *Z*, *J1*, *J6*, *J7*, *J19*, *J20*, *1580* in *J27*. Pod te točke smo instrument in reflektorje centriral s kar največjo natančnostjo s preizkušenim preciznim optičnim grezilom, preostale točke pa smo prosto postavili na prej izbrani položaj, saj bi za centriranje pod točko porabili preveč časa pri izmeri celotnega poligona.

### 3 STABILIZACIJA MERSKIH TOČK

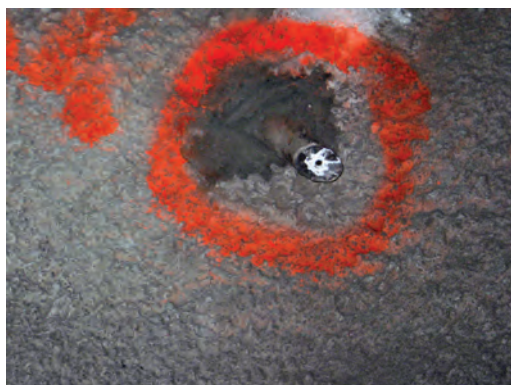
Stabilizacija merskih točk je ključnega pomena za korektno izvedbo meritev. Od načina stabilizacije je odvisna natančnost centriranja instrumenta in reflektorja ter posredno natančnost določitve njihovih

koordinat. Točke *NOP*, *N6A*, *PP* in *PC0* so stabilizirane z betonskim stebrom (slika 2). Vanj je vgrajena plošča z vijakom za prisilno centriranje trinožnega podstavka, na katerega med meritvami pritrđimo elektronski tahimeter ali precizni reflektor. Druge točke na površini so stabilizirane z jeklenim klinom, dolgim 20 centimetrov (slika 2). Tako so stabilizirane »pomožne« točke *NOPI*, *KLAS1* in *KLAS2*. Pogrešek signaliziranja teh točk smo izločili tako, da trinožnega podstavka med izmero nismo premaknili.



Slika 2: Stabilizacija točke z betonskim stebrom in jeklenim klinom.

V jami so točke baz *J6*, *J7*, *J19*, *J20* in *1580* stabilizirane v stropu jamske proge z jeklenim sidrom premera 24 milimetrov in dolžine 50 centimetrov. Na koncu je sidro odrezano pod kotom  $45^\circ$ , na sredini prirezane ploskve pa je izvrtina premera 2 milimetra, ki je namenjena obešanju svinčnice za grobo postavitev stativa (slika 3) in določa center točke. Po grobem centriranju s svinčnico smo le to sneli in nato na luknjico jeklenega sidra s preciznim optičnim grezilom precizno centralni trinožni podstavek. Za stabilizacijo točk od *J27* do *J31* smo uporabili posebne, za to nalogo konstruirane nosilce, ki smo jih vgradili v bok jamske proge vzdolž zahodnega prekopa (slika 3). Tak način stabilizacije merskih točk smo uporabili, ker smo morali nanje priviti podnožja instrumenta, saj smo iz zadnjih dveh točk *J30* in *J31* vizirali na grezilo v jaški *NOP*. Vseh drugih merskih točk v jami pa nismo trajno stabilizirali. Na mesto, določeno s simulacijo, smo postavili stativ in nanj trinožni podstavek z elektronskim tahimetrom oziroma precizno prizmo. Tako kot »pomožne« točke na površini je tudi te točke označevalo presečišče osi instrumenta oziroma precizne prizme, zato jih med izmero nismo smeli premakniti.



Slika 3: Stabilizacija merske točke v stropu in boku jamske proge.

Višinske točke so stabilizirane s čepi sodčkaste, valjaste ali kroglaste oblike. Na betonskih stebrih je bila višinska točka plošča, na katero smo privili trinožni podstavek. V jami smo določili reper *RJ27* (slika 4), ki se uporablja kot višinsko izhodišče za vse višinske navezave v jami. Na vseh merskih točkah je bila višinska točka presečišče vseh treh osi elektronskega tahimetra oziroma precizne prizme.



Slika 4: Izhodiščni reper *RJ27* v jami.

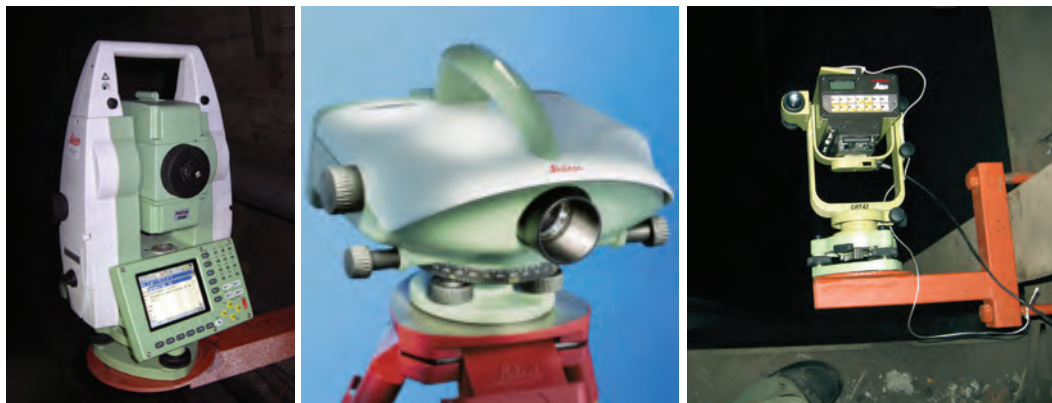
Ocenjujemo, da smo z izbranimi načini stabilizacije dosegli natančnost centriranja velikostnega reda najmanj milimeter, kar zadostuje za naše potrebe.

## 4 IZVEDBA MERITEV

Želena velika natančnost določitve točk, razpoložljiv čas in način obdelave podatkov so močno vplivali tudi na izbiro merske opreme. Vsa oprema, ki smo jo uporabili, je med najnatančnejšimi na trgu ter je bila pred meritvami servisirana in certificirana na pooblaščenem servisu. Tudi izbrane metode izmero omogočajo pridobivanje natančnih merskih podatkov.

### 4.1 Izbor instrumentarija

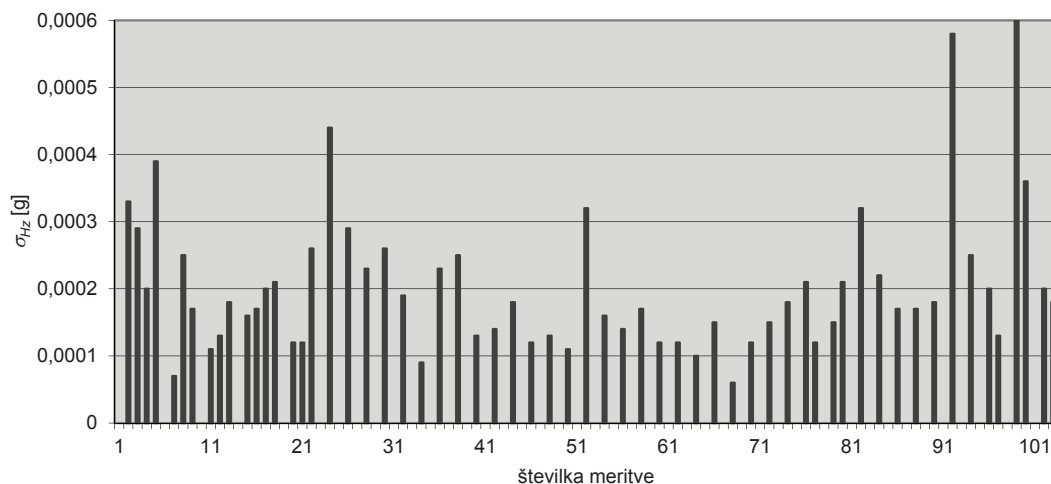
Meritve vseh horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in poševno merjenih dolžin smo opravili z elektronskim tahimetrom Leica Geosystems TCRA 1201+ (natančnost merjenja kotov:  $\sigma_{\text{ISO-THEO}}$  je 1" oziroma 0,3 mgona in natančnost merjenja dolžin:  $\sigma_{\text{ISO-EDM}}$  je 1 mm; 1,5 ppm) – slika 5. Izmero višinskih razlik smo na površini opravili z nivelirjem Leica DNA 03 z lato GPCL3 (natančnost merjenja višinske razlike:  $\sigma_{\text{ISO-LEV}}$  je 0,4 mm/km). Izmero globine jaška smo opravili z elektronskim razdaljemerom Distomat Leica DI3000S (natančnost merjenja dolžin:  $\sigma_{\text{ISO-EDM}}$  je 3 mm; 1 ppm). Vsa centriranja merske opreme pod merskimi točkami baz v jami smo opravili s preciznim optičnim grezilom (zenitlotom) Leica WILD ZNL (natančnost centriranja: 1 mm/30 m). Za signalizacijo točk smo uporabili komparirane precizne reflektorje Leica GPH1P. Poleg naštetega instrumentarija smo uporabili še precizni psihrometer z ločljivostjo 0,1 °C in precizni barometer z ločljivostjo 0,01 mbara in relativno natančnostjo 0,01 %.



Slika 5: Elektronski tahimeter Leica TCRA 1201+, nivelir Leica DNA 03 (URL 1), distomat Leica DI3000S.

## 4.2 Meritve horizontalnih smeri

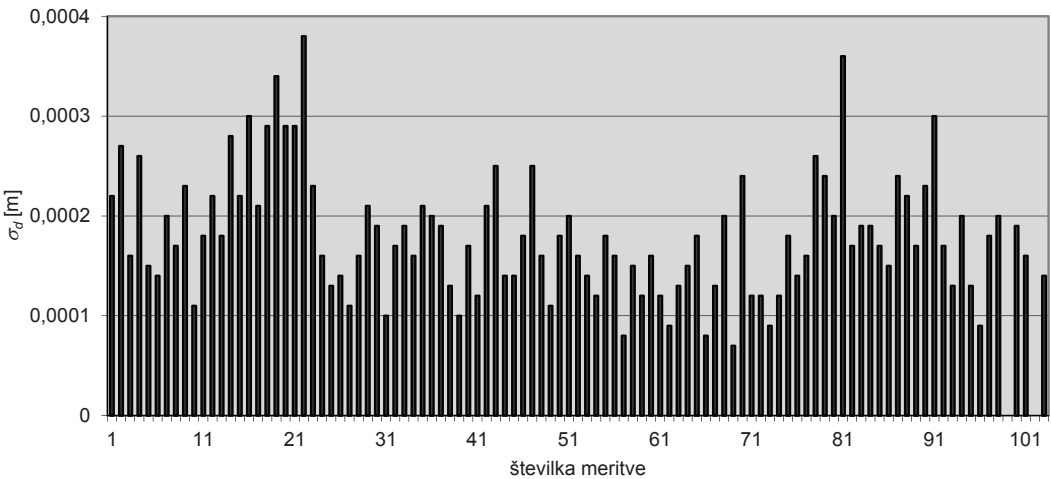
Meritve horizontalnih smeri smo izvedli z girusno metodo, in sicer v sedmih girusih (Miculinič, 2007). Na vsakem stojšču smo nato izračunali aritmetične sredine merjenih reduciranih horizontalnih smeri, ki smo jih nato uporabili v izravnavi položajne mreže, in standardne deviacije aritmetičnih sredin merjenih horizontalnih smeri (graf 1). Ker smo horizontalne smeri reducirali na začetno smer, ima ta smer standardno deviacijo 0 gonov. Tako se iz grafa 1 vidi, da smo najprej merili na površini, kjer smo na posameznih točkah imeli 4 ali 5 smeri, nato smo nadaljevali meritve na poligonskih točkah v nadkoku Pesje in končali z viziranjem na grezilo v jami. Natančnost ene meritve je bila manjša od 0,0006 gona, znašala je 0,0010 gona. Ta meritev je iz J30 na grezilo – zelo težko je natančneje vizirati na 2 milimetra debelo žico. Vpliv tega pogreška pa je majhen, saj je to kratka vizura (približno 7 metrov) in znaša 0,05 milimetra.



Graf 1: Natančnost merjenih horizontalnih smeri.

### 4.3 Meritve dolžin

Hkrati z meritvami horizontalnih smeri smo merili poševne dolžine. Običajno smo izmerili 14 dolžin proti posamezni točki, iz katerih smo izračunali aritmetično sredino in njihovo standardno deviacijo, ki jo prikazujemo na grafu 2. Pri stojšču instrumenta smo za redukcijo meteoroloških popravkov merili meteorološke parametre: suho in mokro temperaturo, relativno vlažnost (na nekaterih stojščih) in zračni tlak; običajno trikrat na posameznem stojšču. Za izračun meteoroloških popravkov smo upoštevali temperaturo  $t$  in zračni tlak  $p$  ter delni tlak vodne pare  $e$  ali relativno vlažnost  $\eta$ . Za izračun lomnega količnika za normalno atmosfero smo uporabili koeficiente iz Ciddor-Hill (1999), dejanski lomni količnik pa smo izračunali po enačbi Barrell&Sears (Kogoj, 2005). Upoštevali smo prvi popravek hitrosti (saj je drugi za naše dolžine zanemarljiv). Na podlagi psihrometriških meritev smo določili velikost delnega tlaka vodne pare po Sprungovi enačbi za Assmannov aspiracijski psihrometer. Tlak nasičene vodne pare smo določili po Magnus-Tetensovi enačbi. Če smo izmerili relativno vlažnost zraka, smo velikost delnega tlaka vodne pare izračunali po enačbi iz literature (Alduchov in Eskridge, 1996). Za meteorološke vplive reducirane dolžine smo nato preračunali v tetive na ničelni nivojski ploskvi, te v krožni lok na tej ploskvi in končno v dolžine v Gauß-Krügerjevi projekcijski ravnini, ki smo jih uporabili v izravnavi položajne mreže.



Graf 2: Natančnost merjenih dolžin. Manjkata 99. meritev iz J30 na grezilo in 102. meritev iz J31 na grezilo, pri katerih ni bilo mogoče izmeriti dolžine.

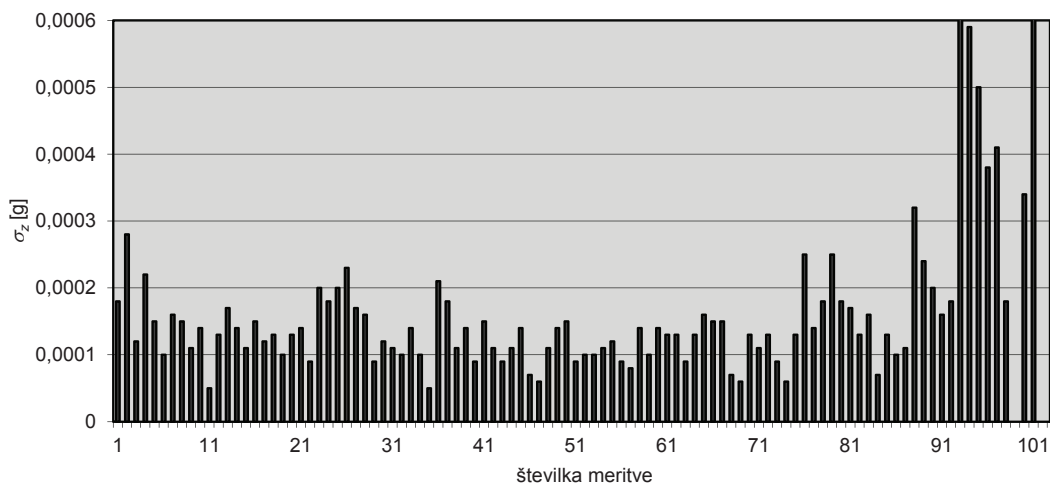
### 4.4 Meritve višinskih razlik s trigonometričnim višino merstvom

Med poligonskimi točkami v jami smo višinske razlike določili s trigonometričnim višino merstvom. To metodo smo uporabili, ker:

- je velika višinska razlika med točkami na površini in točkami na najnižjem obzorju v jami (približno 420 metrov),
- so bile dolžine med poligonskimi točkami relativno kratke (najdaljša je bila 146 metrov) in je vpliv vertikalne refrakcije na merjene zenitne razdalje majhen,
- je bistveno hitrejša od geometričnega nivelmana,
- bi bilo težavno postavljanje stativa z nivelirjem in late v jamskih progah,
- smo dosegli želeno natančnost.



Zenitne razdalje smo merili obenem z meritvami horizontalnih smeri. Na posameznem stojišču smo nato izračunali aritmetične sredine zenitnih razdalj proti merjenim točkam, ki smo jih uporabili za izračun višinskih razlik. Izračunali smo tudi standardne deviacije aritmetičnih sredin zenitnih razdalj (graf 3). Iz grafa vidimo, da smo od 91. meritve naprej, ko smo na točkah od *J27* do *J31* za stojišče uporabili posebne nosilce (slika 3), dosegli nekoliko manjšo natančnost merjenih zenitnih razdalj, kar nakazuje na rahlo nestabilnost stojišča. Kljub temu pa ni nobena standardna deviacija aritmetičnih sredin zenitnih razdalj presegla 0,0010 gona.



Graf 3: Natančnost merjenih zenitnih razdalj.

Na nekaterih geodetskih točkah na površini (*NOP*, *PP* in *Z*) smo merili višino instrumenta zato, da smo povezali višinske razlike, izračunane s trigonometričnega višinomernstva in izmerjene z geometričnim nivelmanom. Višino instrumenta smo izmerili v treh položajih zgornjega dela instrumenta na pol milimetra natančno. Iz izmerjenih zenitnih razdalj, za meteorološke vplive reduciranih poševnih dolžin in izmerjenih višin instrumenta smo izračunali višinske razlike med točkami. Izmero višinskih razlik smo v jami končali na reperju *RJ27*, tako da smo pri horizontalni vizuri elektronskega tahimetra odčitali vrednost na merskem traku, postavljenem navpično na reperju (slika 6). Merski trak smo uporabili, ker na reperju *RJ27* ni mogoče postaviti nivelmanske late vertikalno.

#### 4.5 Meritve višinskih razlik z geometričnim nivelmanom

Med geodetskimi točkami na površini smo višinske razlike izmerili z geometričnim nivelmanom. To metodo smo uporabili, ker:

- je med točkami na površini velika razdalja in bi vertikalna refrakcija močno vplivala na merjenje zenitnih razdalj,
- med točkami ni velike višinske razlike (približno 13 metrov).

Pri niveliranju smo vedno pazili, da:

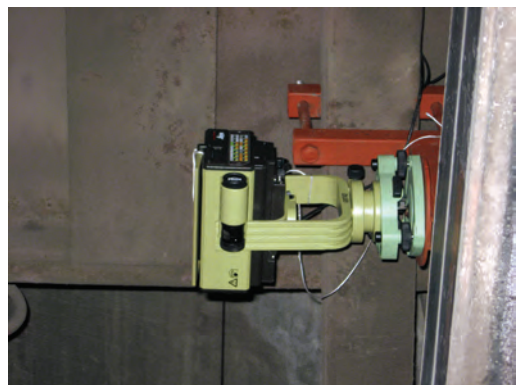
- smo nivelirali iz sredine,
- dolžina vizure ni nikoli presegla 40 metrov,

- vizura ni bila preblizu tal (vsaj 0,4 metra nad tlemi),
- smo lato postavili vertikalno z rektificirano dozno libelo,
- smo med meritvami uporabljali držalo za lato,
- smo nivelirali v ugodnih vremenskih razmerah.

Niveliranje smo začeli na izhodiščnem reperju *PEPA*, ki je višinsko izhodišče vseh višinskih izmer na Premogovniku, in nadaljevali prek točk *NOP*, *PP* in *Z* do reperja *JEK* (slika 6), ki je nekaj metrov oddaljen od jaška *NOP*.

#### 4.6 Meritve globine jaška *NOP*

Meritve višinskih razlik s trigonometričnim višinomerstvom po jami in z geometričnim nivelmanom na površini smo želeli povezati v višinsko zanko. Za to smo morali izmeriti globino v jašku *NOP*. V jami smo povezavo izvedli z izmero višinske razlike med reperjem *RJ27* (glej sliko 6) in preciznim reflektorjem, ki smo ga postavili na stativ, nameščen na odru v jašku *NOP*. Po odru med meritvami seveda nismo hodili. Po navezavi smo prizmo reflektorja usmerili vertikalno proti površini.



Slika 6: Navezava na reper *RJ27* v jami (levo zgoraj), na reper *JEK* na površini (desno zgoraj), reflektor na nosilcu tik pod odvoziščem na jašku *NOP* – pogled od zgoraj proti jami (levo spodaj) in instrument na isti merski točki kot prej reflektor – pogled od strani (desno spodaj).

Na površini smo izmerili višinsko razliko med reperjem *JEK* ob jašku NOP (glej sliko 6) in reflektorjem, nameščenim na posebnem nosilcu, ki smo ga pritrčili v jašku (glej sliko 6). Po navezavi na odvozišču smo reflektor zamenjali z elektronskim razdaljemerom Distomat Leica DI3000S in večkrat izmerili globino jaška do prizme (glej sliko 6). Med merjenjem globine smo na površini in v jami merili meteorološke parametre, s katerimi smo pozneje reducirali izmerjeno globino. Tako smo sklenili zanko višinske mreže.

#### 4.7 Grezenje v jašku NOP

Geodetsko mrežo na površini in poligon v jami smo zaključili na grezilu v jašku NOP. Na površini smo grezilo vpeli v tako imenovano marko grezila *NOPM* (slika 7). Nad marko grezila smo s preciznim optičnim grezilom natančno centralizirali na stativ privit trinožni podstavek in v tej točki zaključili geodetsko položajno mrežo na površini. Za določitev vertikalnega položaja grezila smo v jami za grezilom v bok jaška pritrčili po meri izdelan nosilec, na katerega smo namestili ravnili z razdelbama za odčitavanje skrajnih leg nihaja grezila v dveh pravokotnih smereh. Skozi daljnogled elektronskega tahimetra, ki smo ga postavili na točkah *J30* in *J31*, smo v obeh pravokotnih smereh opazovali nihanje grezila v skrajnih levih in skrajnih desnih legah. Na podlagi zapisanih odčitkov smo izračunali aritmetično sredino odčitkov in grezilo vpeli na izračunani vrednosti. Na sliki 7 je prikazan nosilec za vpenjanje grezila z ravnili v jami v jašku NOP. Na tako vpeto grezilo smo nato iz merskih točk *J30* in *J31* vizirali na sredino grezila (žice), izmerili horizontalni smeri in tako sklenili poligon v jami.



Slika 7: Vpenjanje marke grezila na površini (levo) in v jami (desno) ter signaliziranje marke grezila s preciznim reflektorjem na površini (sredina).

Iz opisanega je razvidno, da smo uporabili najnatančnejšo opremo, ki nam je bila na voljo v Sloveniji. Ves potek meritev je bil največji poudarek na kar največji natančnosti meritev. Posledica izbora merskega instrumentarija, pribora in metod izmere je dosežena velika natančnost izmerjenih količin, kar je razvidno iz grafov 1, 2 in 3, kjer je srednja vrednost standardnih deviacij aritmetičnih sredin merjenih horizontalnih smeri 0,18 mgon, merjenih dolžin 0,2 milimetra in merjenih zenitnih razdalj 0,13 mgon. Dosežena natančnost izmerjenih količin je torej večja od tovarniško deklarirane natančnosti uporabljenega instrumenta, kar kaže na odlično opravljene meritve, dobro izbrane razmere pri merjenju, metode izmere in pomožni instrumentarij. Samo s kakovostnimi merskimi vrednostmi je mogoče natančno določiti iskane količine, to so koordinate poligonskih točk baz in višin reperjev v jami.

## 5 IZRAVNAVA MERITEV

Višinsko in položajno mrežo smo izravnali ločeno. Meritve smo izravnali po metodi najmanjših kvadratov popravkov meritev, ali matematično zapisano:

$$\Phi = \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \text{minimum}, \tag{1}$$

kjer je:

$\mathbf{v}$  ... vektor popravkov opazovanj,

$\mathbf{P}$  ... matrika uteži vektorja opazovanj.

Tako smo dobili najverjetnejše vrednosti neznank, to je koordinat točk, s pripadajočimi natančnostmi.

Pred izravnavo smo definirali enačbe opazovanj. Zvezo med merjeno višinsko razliko (izmerjeno z geometričnim nivelmanom ali trigonometričnim višinomerstvom) in višinami točk zapišemo:

$$F: \quad \Delta h_{ij} - (H_j - H_i) = 0. \tag{2}$$

Enačba popravkov merjene višinske razlike ima obliko:

$$v_{\Delta h_{ij}} + \delta H_i - \delta H_j = \Delta h_{ij}^0 - \Delta h_{ij}. \tag{3}$$

V položajni mreži smo enačbe opazovanj uporabili za sestavo lineariziranih enačb popravkov opazovanj. Linearizacija je potekala z razvojem v Taylorjevo vrsto, pri čemer smo zanemarili člene višjih stopenj od prve. Zvezo med merjeno horizontalno smerjo in koordinatnimi neznankami ter orientacijsko neznanko zapišemo:

$$F: \quad r_{ij} - \arctan \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} + o_i = 0. \tag{4}$$

Linearizirana enačba popravkov merjene horizontalne smeri ima obliko:

$$v_{r_{ij}} + \frac{\Delta x_{ij}^0}{(s_{ij}^0)^2} \delta y_i - \frac{\Delta y_{ij}^0}{(s_{ij}^0)^2} \delta x_i - \frac{\Delta x_{ij}^0}{(s_{ij}^0)^2} \delta y_j + \frac{\Delta y_{ij}^0}{(s_{ij}^0)^2} \delta x_j + \delta o_i = r_{ij}^0 - r_{ij}. \tag{5}$$

Zvezo med reducirano horizontalno dolžino in koordinatnimi neznankami zapišemo:

$$F: \quad s_{ij} - \sqrt{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} = 0. \tag{6}$$

Linearizirana enačba popravkov reducirane horizontalne dolžine ima obliko:

$$v_{s_{ij}} + \frac{\Delta y_{ij}^0}{s_{ij}^0} \delta y_i + \frac{\Delta x_{ij}^0}{s_{ij}^0} \delta x_i - \frac{\Delta y_{ij}^0}{s_{ij}^0} \delta y_j - \frac{\Delta x_{ij}^0}{s_{ij}^0} \delta x_j = s_{ij}^0 - s_{ij}. \tag{7}$$

V enačbah od (2) do (7) pomeni:

$\Delta h_{ij}$  ... merjena višinska razlika med točkama  $i$  in  $j$ ,

$r_{ij}$  ... merjena horizontalna smer med točkama  $i$  in  $j$ ,

$s_{ij}$  ... reducirana horizontalna dolžina med točkama  $i$  in  $j$ ,

$y_p, x_p, H_i$  in  $y_j, x_j, H_j$  ... koordinate točk  $i$  in  $j$ ,

$v_{\Delta h_{ij}}$  ... popravek merjene višinske razlike,

$v_{r_{ij}}$  ... popravek merjene horizontalne smeri,

$v_{s_{ij}}$  ... popravek reducirane horizontalne dolžine,

$o_i$  ... orientacijska neznanka,

$\delta y_p, \delta x_p, \delta H_i$  in  $\delta y_j, \delta x_j, \delta H_j$  ... popravki približnih vrednosti koordinat točk  $i$  in  $j$ ,

$\delta o_i$  ... popravek približne vrednosti orientacijske neznanke,

$\Delta h_{ij}^0$  ... približna vrednost višinske razlike,

$r_{ij}^0$  ... približna vrednost horizontalne smeri,

$s_{ij}^0$  ... približna vrednost reducirane horizontalne dolžine,

$\Delta y_{ij}^0 = y_j^0 - y_p^0$ ,  $\Delta x_{ij}^0 = x_j^0 - x_p^0$ ,  $\Delta h_{ij}^0 = H_j^0 - H_i^0$  ... koordinatne razlike med točkama  $i$  in  $j$ ,

$y_p^0, x_p^0, H_i^0$  in  $y_j^0, x_j^0, H_j^0$  ... približne koordinate točk  $i$  in  $j$ .

## 5.1 Izravnava višinske mreže

Izravnavo višinske mreže smo izvedli s programom ViMWin, ver. 5.1, okt. 07, avtorjev T. Ambrožiča in G. Turka (Ambrožič in Turk, 2007). Za izhodišče smo izbrali reper *PEPA*. Z meritvami v preteklosti smo dokazali, da je ta reper stabilen. V vseh treh korakih smo uteži izbrali obratno sorazmerne dolžinam med točkami oziroma reperji, torej  $p_{ij} = 1/s_{ij}$ . Take uteži smo namenoma izbrali tudi za merjene višinske razlike s trigonometričnim višino-merstvom, saj smo dobili preveč optimistično oceno natančnosti enote uteži, če smo uteži izračunali z izrazom  $p_{ij} = 1/s_{ij}^2$ . Razlike v višinah reperjev po izravnavi pa so bile pod milimetrom, če smo uteži izračunali po prvi ali drugi zgoraj zapisani enačbi.

Izravnava je potekala v treh korakih. Najprej smo izvedli izravnavo točk, ki smo jim višinske razlike določili z geometričnim nivelmanom, torej *NOP*, *PP*, *JEK* in *Z*. V preglednici 1 so prikazane izravnane nadmorske višine točk s pripadajočo natančnostjo. Iz preglednice je razvidno, da smo dosegli veliko natančnost določitve višin točk, kar je pričakovan rezultat, saj smo uporabili ustrezen instrument, nivelmansko lato, metodo dela, izmera je bila izvedena v ugodnih vremenskih razmerah.

V drugem koraku smo izvedli izravnavo višinskih razlik, izmerjenih s trigonometričnim višino-merstvom, med točkami geodetske mreže na površini. Natančnosti določitve višin točk so prikazane v preglednici 1 in znašajo od 2,1 do 2,5 milimetra, kar je dober rezultat in potrjuje dobro opravljene meritve. Seveda je natančnost določitve teh točk manjša kot v prejšnjem primeru, saj je geometrični nivelman ena izmed najnatančnejših geodetskih merskih metod.

Preglednica 1: Izravnane višine točk s pripadajočimi natančnostmi.

Reper	$H$ [m]	$\sigma_H$ [m]	Reper	$H$ [m]	$\sigma_H$ [m]
<i>NOP</i>	365,3961	0,0010	<i>N6A</i>	405,6207	0,0023
<i>NOPvrh</i>	366,3752	0,0010	<i>PC0</i>	402,4467	0,0025
<i>NOPM</i>	363,9461	0,0010	<i>KLAS1</i>	371,8125	0,0021
<i>JEK</i>	365,1727	0,0010	<i>KLAS2</i>	374,6029	0,0023
<i>PPJ</i>	371,1877	0,0008			
<i>PPZ</i>	371,1667	0,0008			
<i>PPS</i>	371,1794	0,0008			
<i>PPvrh</i>	372,2406	0,0008			
<i>Z</i>	372,3517	0,0009			

V zadnjem koraku smo izvedli izravnavo celotnega sklenjenega višinskega poligona od točke *PPvrh* prek jame do točke *NOPvrh*. Vključili smo seveda tudi izmerjeno globino jaška, ki smo jo reducirali za meteorološke vplive. V preglednici 2 so podane izravnane definitivne višine točk v jami, na katerih smo vzpostavili baze. Dodatno smo izpisali definitivno višino reperja *RJ27* z izračunano natančnostjo določitve, ker je ta reper stabiliziran v srednjem prekopu in se uporablja kot višinsko izhodišče za vse višinske navezave v jami. Iz preglednice 2 je razvidno, da natančnost določitve višin točk znaša od 2,8 do 5,4 milimetra. Glede na dobljene rezultate višinske izravnave lahko ugotovimo, da sta bili izmera in izravnava izvedeni korektno ter lahko izravnane nadmorske višine točk uporabimo za izračun reduciranih dolžin in za vsa nadaljnja jamomerska dela v jami.

Preglednica 2: Izravnane nadmorske višine reperjev s pripadajočo natančnostjo.

Reper	$H$ [m]	$\sigma_H$ [m]
<i>J1</i>	362,7733	0,0028
<i>J6</i>	227,2582	0,0042
<i>J7</i>	227,267	0,0043
<i>J19</i>	26,9682	0,0054
<i>J20</i>	7,5392	0,0054
<i>RJ27</i>	-41,7273	0,0052

## 5.2 Izravnava položajne mreže

Izravnavo položajne mreže smo izvedli s programom Gem4, ver. 4.0, okt. 07, avtorjev T. Ambrožiča, G. Turka in Z. Jamška. Ker smo vse smeri in dolžine merili z istim instrumentom, enakim številom girusov, v podobnih razmerah ..., smo vsem smerem dodelili utež 1, vsem dolžinam pa utež, obratno sorazmerno dolžinam. Natančnost smeri a priori smo ocenili na 0,45 mgon, natančnost dolžin pa 0,6 milimetra.

Položajno mrežo smo najprej izravnali kot prosto mrežo in nato kot vpeto mrežo. Izravnava proste mreže je potekala v treh korakih. V prvem koraku smo analizirali meritve po danski metodi, s katero smo poskušali ugotoviti morebitno prisotnost grobih pogreškov med meritvami. V drugem koraku smo

izvedli izračun uteži merjenih količin z upoštevanjem izbranega kriterija, da se referenčni standardni deviaciji pred izravnavo in po njej statistično značilno ne razlikujeta. V tretjem koraku smo opravili test približnih koordinat, s katerim smo videli, ali smo približne koordinate točk dovolj dobro izračunali. Nato je sledila izravnava vpete mreže, ko smo kot dani točki izbrali točki *NOP* in *N6A*, saj njun vektor premika poznamo zaradi večletnih opazovanj v opazovalni mreži Premogovnika Velenje. Njune koordinate smo določili z opazovanji GNSS. V preglednici 3 so prikazane koordinate danih točk *NOP* in *N6A* med izvajanjem obravnavanih meritev.

Preglednica 3: Seznam koordinat danih točk v rudniškem koordinatnem sistemu.

Točka	Y [m]	X [m]
<i>N6A</i>	6531,037	6056,697
<i>NOP</i>	5683,214	6353,125

V preglednici 4 so prikazane izravnane koordinate točk baz v jami in analiza natančnosti. Razvidno je, da natančnost po osi *Y* znaša od 0,6 do 3,7 milimetra, po osi *X* pa od 1,0 do 9,3 milimetra. Dobljeni rezultati so zelo dobri in dokaz, da so bile celotne meritve izvedene izredno strokovno.

Preglednica 4: Izravnane vrednosti koordinat točk baz v jami in analiza natančnosti.

Točka	Y [m]	X [m]	<i>M<sub>y</sub></i> [m]	<i>M<sub>x</sub></i> [m]	<i>M<sub>p</sub></i> [m]	<i>a</i> [m]	<i>b</i> [m]	$\theta$ [°]
<i>PP</i>	6826,1430	6183,6447	0,0008	0,0016	0,0018	0,0017	0,0005	156
<i>PC0</i>	6703,4516	5720,8900	0,0019	0,0010	0,0021	0,0020	0,0005	64
<i>KLAS1</i>	6764,3427	5978,6806	0,0006	0,0013	0,0014	0,0014	0,0004	18
<i>KLAS2</i>	7024,8083	5959,9702	0,0007	0,0027	0,0028	0,0027	0,0005	11
<i>NOPI</i>	5567,8081	6361,9312	0,0004	0,0010	0,0011	0,0010	0,0004	5
<i>Z</i>	6875,9547	6006,8981	0,0008	0,0022	0,0023	0,0022	0,0007	10
<i>J1</i>	6927,9284	6008,8676	0,0008	0,0023	0,0024	0,0023	0,0008	8
<i>J6</i>	7486,2482	6024,9357	0,0012	0,0093	0,0094	0,0093	0,0012	179
<i>J7</i>	7479,7853	5978,2096	0,0014	0,0092	0,0093	0,0092	0,0013	3
<i>J19</i>	6175,4614	6345,5406	0,0024	0,0059	0,0064	0,0059	0,0024	2
<i>J20</i>	6035,4555	6384,9270	0,0024	0,0049	0,0055	0,0049	0,0023	176
<i>J27</i>	5622,2761	6397,1230	0,0023	0,0013	0,0026	0,0024	0,0011	109
<i>1580</i>	5671,9864	6564,5963	0,0037	0,0016	0,0040	0,0038	0,0012	106

## 6 SKLEPNE UGOTOVITVE

Za potrebe natančne zakoličbe jaška *NOP* II smo izvedli povezavo jame na površino. Pri načrtovanju meritev povezave jame na površino smo iskali optimalne možnosti za izvedbo meritev. Z izmero zunanje mreže, izmero poligona po izvoznem nadkopu Pesje in priključitvijo grezila v jašku *NOP* ter merjenjem globine v jašku *NOP* smo izpolnili zahteve jamomerske stroke glede pravilne izvedbe meritev. Meritve so potekale več dni, za odlične rezultate pa je zaslužna geometrija geodetske mreže na površini in poligona v jami, uporabljen instrumentarij in pribor, izbran čas meritev, da so razmere za merjenje dobre, in seveda

uigrana ekipa. Analiza meritev horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in poševnih dolžin je pokazala, da smo z izmero v sedmih girusih dosegli natančnejše rezultate za instrument Leica Geosystems 1201 TCRA+, kot jih proizvajalec navaja v specifikaciji za navedeni instrument. S položajno izravnavo vseh meritev smo za točke na površini in točke baz v jami dobili natančnost po osi  $Y$  od 0,6 do 3,7 milimetra, po osi  $X$  pa od 1,0 do 9,3 milimetra. Z višinsko izravnavo višinskih razlik, ki smo jih dobili z geometričnim nivelmanom, trigonometričnim višinomerstvom in merjenjem globine v jašku NOP, smo za točke na površini, točke baz v jami in bazni reper v jami dobili natančnost od 2,6 milimetra do 5,4 milimetra. Glede na dolžino zaključenega položajnega in višinskega poligona ter zahtevnost izvedbe lahko trdimo, da so dobljeni rezultati zelo dobri in hkrati dokaz, da je bila naloga izvedena izredno strokovno.

## Zahvale

*Izvedbo tega dela sta omogočila Premogovnik Velenje in Oddelek za geodezijo UL FGG. Brez uigrane ekipe nam tako kakovostnih meritev ne bi uspelo narediti, zato hvala Roku Grilu, Hikmetu Mujiću in Simonu Rožiču.*

## Literatura in viri:

- Ambrožič, T., Turk, G. (2007). Navodila za uporabo programa ViMWin ver. 5.1, okt. 07. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Alduchov, O. A., Eskridge, R. E. (1996). Improved Magnus Form Approximation of Saturation Vapor Pressure. *Journal of Applied Meteorology*, 35(4), 601–609. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1996\)035<0601:IMFAOS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1996)035<0601:IMFAOS>2.0.CO;2)
- Ciddor, P. E., Hill, R. J. (1999). Refractive Index of Air. 2. Group Index. *Applied Optics (Lasers, Photonics and Environmental Optics)*, 38(9), 1663–1667. DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/AO.38.001663>
- Kogoj, D. (2005). Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljmeri. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Miculinič, A. (2007). Primerjava natančnosti meritev, izvedenih klasično in z avtomatskim viziranjem, ter analiza rezultatov izravnav. Diplomski naloga. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Stopar, B., Sterle, O. (2011). Mala geodinamična mreža Premogovnika Velenje – MGMPV (poročilo za leto 2010). Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Stopar, B., Sterle, O. (2012). Obdelave opazovanj GNSS od leta 1996 do leta 2011 v Mali geodinamični mreži Premogovnika Velenje (poročilo za leto 2011). Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Vrabc, M., Pavlovčič Prešeren P., Stopar, B. (2006). GPS study (1996–2002) of active deformation along the Periadriatic fault system in northeastern Slovenia: tectonic model. *Geologica Carpathica*, 57(1), 57–65.
- URL 1: [http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-DNA03-Leica-DNA10\\_5287.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-DNA03-Leica-DNA10_5287.htm), pridobljeno 23. 1. 2014.

Koželj M., Slatinšek J., Ambrožič T. (2015). Jamomerske meritve pri gradnji jaška NOP II. *Geodetski vestnik*, 59 (1): 13–27.  
DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2015.01.013-027

**Mag. Matjaz Koželj, univ. dipl. inž. rud.**  
Premogovnik Velenje d.d.  
Partizanska cesta 78, SI-3320 Velenje  
e-naslov: Matjaz.Kozelj@rlv.si

**Jure Slatinšek, dipl. inž. rud. in geotehnol.**  
PV Invest, d.o.o.  
Koroška cesta 62b, SI-3320 Velenje  
e-naslov: jure.slatinsek@pvinvest.si

**Izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič, univ. dipl. inž. geod., univ. dipl. inž. rud.**  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: tomaz.ambrozic@fgg.uni-lj.si