

## TUNEL »KOMARNICA«

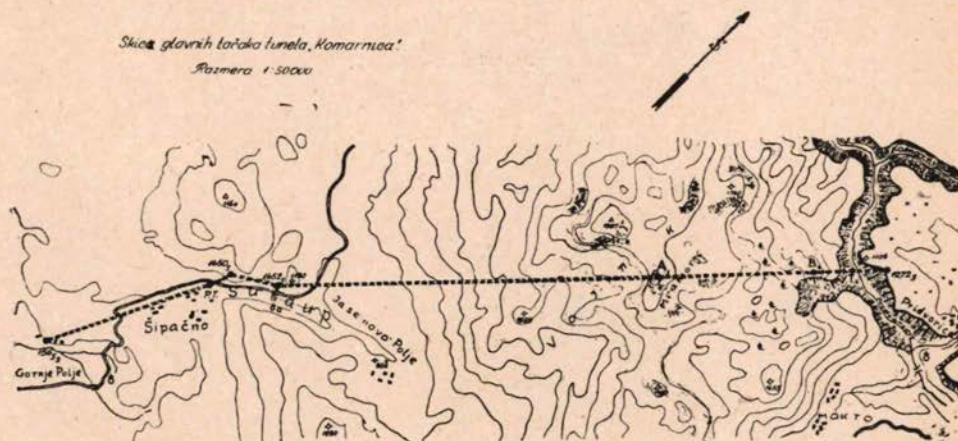
Savezna geodetska uprava stavila mi je u zadatak da u toku avgusta i septembra 1957 godine izvršim obeležavanje osovine tunela »Komarnica« čija dužina iznosi nešto više od 15 km, a pruža se od zv. mesta Kondžile (u blizini Šavnika) do sela Gornje Polje (severno od Nikšića oko 10 km) najvećim delom ispod planine Vojnik. Kroz ovaj tunel se propušta voda iz akumulacionog bazena reke Komarnice do hidrocentrale u Gornjem Polju.

S obzirom na retkost ovako velikih objekata ove vrste kod nas pa i u inostranstvu u ovom članku prikazaću način rada kao i rezultate merenja pri obeležavanju tunela i to na delu preko Vojnika (sl. 3) u dužini od oko 12 km. koji je najveći deo tunela a i prema terenskim prilikama čini težište radova na obeležavanju.

U horizontalnom smislu tunel se lomi u trima tačkama (sl. 1) između kojih su prave linije. Prvi deo tunela od tačke  $\Delta Y T_z$  do tačke  $\Delta 1452_s$  iznosi oko 11 km, ostala tri dela t. j.  $\Delta 1452_s$  do  $\Delta 156_{S2}$  bitno su kraći (sl. 1).

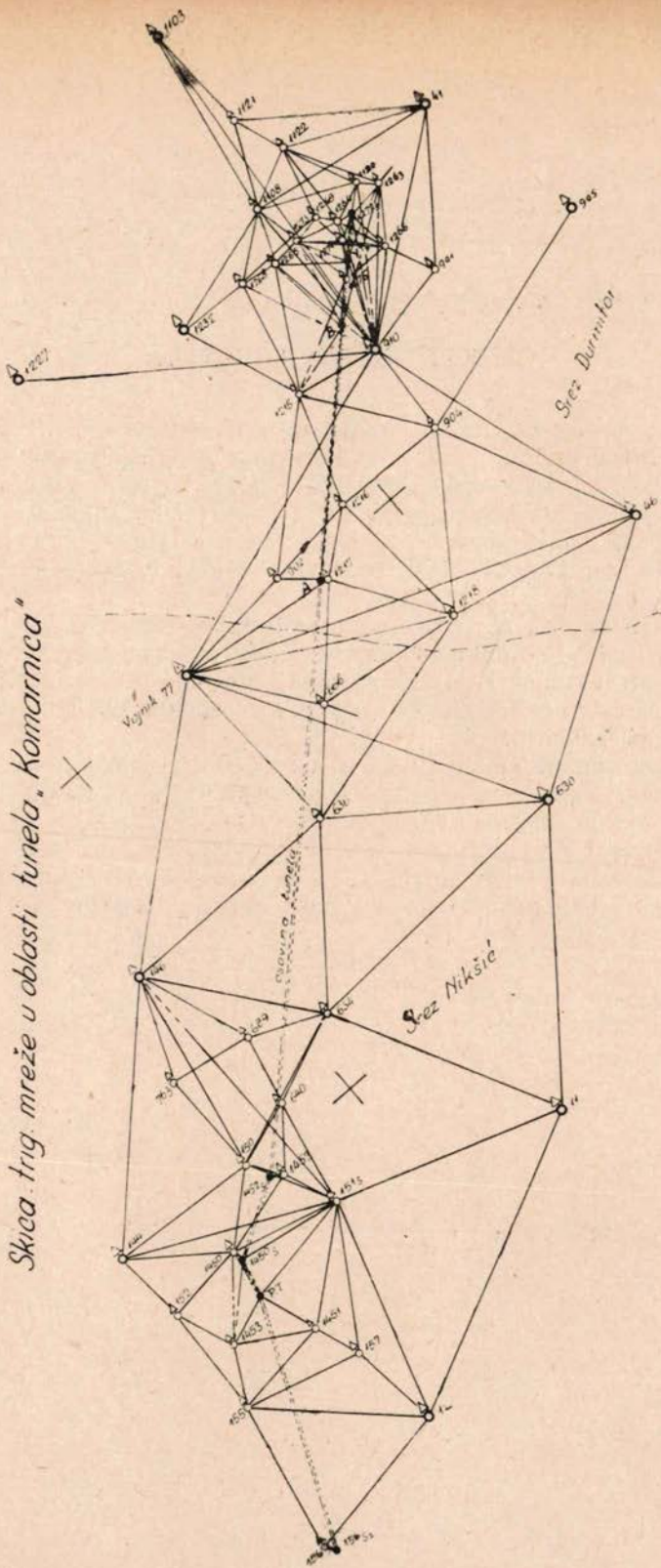
Na području projektovanog tunela postoji od ranije trigonometrijska mreža (sl. 2) viših i nižih redova koju je preduzeće »Georad« iz Beograda u posleratnim godinama postavilo a koju sam pri obeležavanju tunela do-

Skica glavnih tačaka tunela »Komarnica«  
Razmera 1:50000



Sl. 1

Skica trig mreže u oblasti tunela „Komarnica“

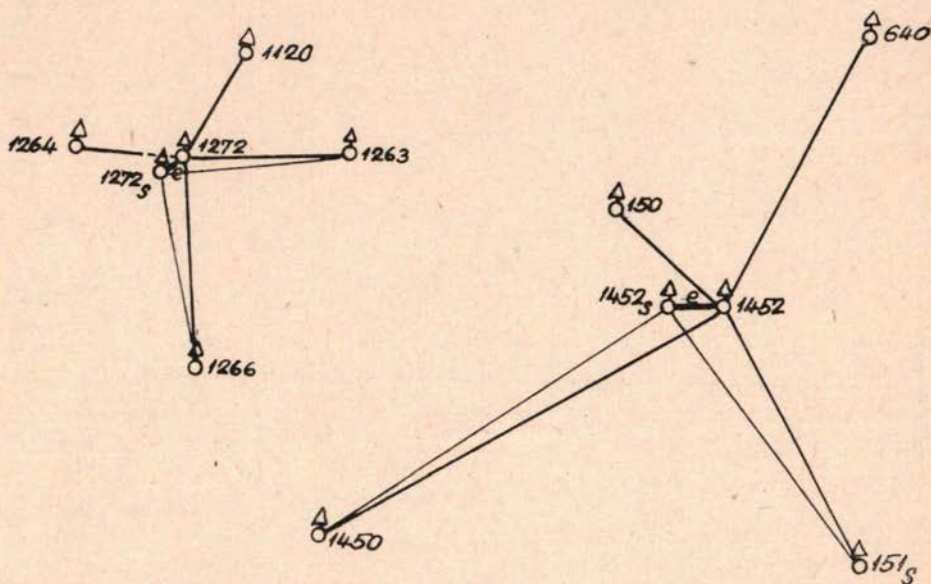


Sl. 2

punio postavljanjem niza novih trig. tačaka naročito u predelu ulaza i izlaza tunela. Na sl. 1 prikazana je skica trase tunela u razmeri 1:50 000 sa vertikalnom pretstavom terena.

Pri obeležavanju ovog tunela korišćen je jednosekundni teodolit firme Wild T<sub>2</sub> No 21970.

Za krajnje i prelomne tačke tunela u horizontalnom smislu naime za:  $\Delta 156_s$ ,  $\Delta P. T.$ ,  $\Delta 1450_s$ ,  $\Delta 1272_s$  i  $\Delta Y T_z$  investitor je dao brojne vrednosti koordinata uzetih sa plana, te sam na temelju ovih izvršio obeležavanje odnosno nanošenje gore navedenih tačaka na teren.



Sl. 2a

Sl. 2b

Glavni deo zadatka leži u tome da se po terenu obeleži prava linija od  $\Delta 1452_s$  do  $\Delta 1272_s$  (sl. 1).

Obeležavanje prave linije izvršeno je direktno, načinom koji je u daljem izlaganju prikazan, dok je triangulacija korišćena samo kao pomoćno sredstvo.

Krajnje tačke  $\Delta 1272_s$  i  $\Delta 1452_s$  prave koja se obeležava a čije su koordinate date određene su kao ekscentri novo postavljanih trig. tačaka  $\Delta 1272$  i  $\Delta 1452$  što se jasno vidi iz slika 2a i 2b.

#### STUDIJA NA KARTI 1:10 000 O POVLAČENJU PRAVCA

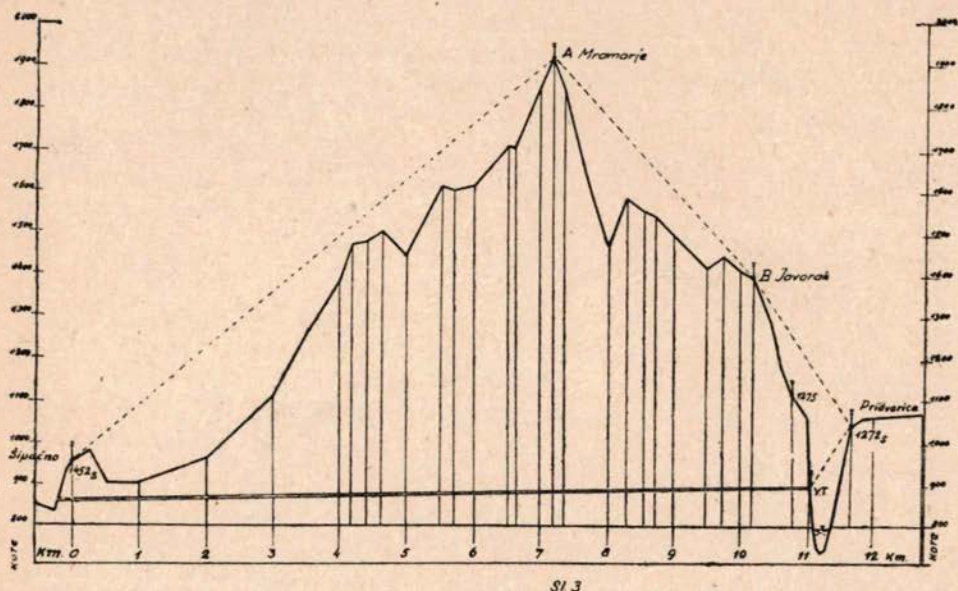
Iz podužnog profila trasa (sl. 3) između tačaka  $\Delta 1452_s$  i  $\Delta 1272_s$  dobivenog sa karte u razmeri 1:10 000 uočen je broj i položaj glavnih prelomnih tačaka terena u vertikalnom smislu. To su tačke ° A »Mramorje« i ° B »Javorak«, koje omogućavaju direktno gledanje:

$\Delta 1452_s$  — ° A »Mramorje« — ° B »Javorak« —  $\Delta 1272_s$

Projekat sa karte za izabrane tačke A i B trebalo je na terenu proveriti utvrditi i ostvariti.

Podužni profil tunela „Komarnica“

Razmera:  $\begin{cases} \text{Dužine: } 1: 50\,000 \\ \text{Visine: } 1: 3\,000 \end{cases}$



Sl. 3

Sl. 3

## POSTUPAK RADOVA NA TERENU

Po izvršenom obeležavanju glavnih tačaka  $\Delta 1452_s$  i  $\Delta 1272_s$  na terenu iz datih koordinata, dobivena je saglasnost od strane investitora uvidom na licu mesta, pa se pristupilo stabilizaciji tih tačaka.

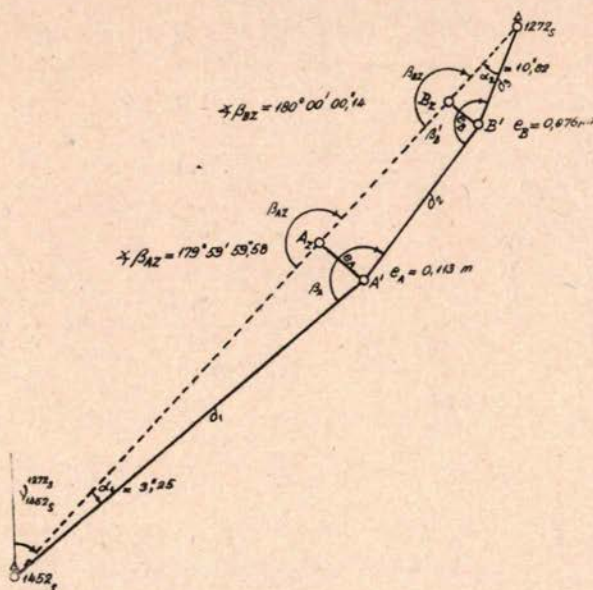
Rad na obeležavanju pravca  $\Delta 1452_s$  —  $\Delta 1272_s$  na terenu može se razložiti na sledeći niz postupaka:

### 1. Približno povlačenje pravca

Iz direkcionog ugla  $v \frac{1425_s}{1272_s} = 48^\circ 04' 23''$  polazeći od tačke  $\Delta 1452_s$ ,

određen je približno pravac i time dobiven položaj prelomnih tačaka  $^\circ A'$  i  $^\circ B'$  (sl. 4) u vertikalnom smislu. Pri tome je konstatovano da tačka  $^\circ A'$  pada skoro na vrh krša zv. Mramorje, na čisti teren, dok tačka  $^\circ B'$  leži na vrlo šumovitom terenu severne padine planine Vojnik, zv. mesto »Javorak«. Sečenje šume radi otvaranja pravca  $^\circ A' - ^\circ B'$  trajalo je 4—5

dana na čemu je radilo nekoliko ljudi u vrlo nepristupačnom terenu. Prosecanje je izvršeno tako da je vizura prolazila na kritičnim mestima više od 10 m iznad terena odnosno šume te se praktično ne može pretpostaviti uticaj refrakcije, naime njene horizontalne komponente.



Sl. 4

## 2. Merenje prelomnih uglova na tačkama $\circ A'$ i $\circ B'$

Da bi se konstatovalo odstupanje tačaka  $\circ A'$  i  $\circ B'$  od pravca  $\Delta 1452_s$ — $\Delta 1272_s$  tj. dužine  $e_A$  i  $e_B$  (sl. 4) izvršena su merenja horizontalnih prelomnih uglova na tačkama  $\circ A'$  i  $\circ B'$ , čiji su rezultati prikazani u trig. obrascu O. T. na stranama 1 i 2.

Kao što se iz priloženog obrasca O. T. vidi za prelomne uglove na tačkama  $\circ A'$  i  $\circ B'$  merene u 6 girusa u dva ponavljanja tj. iz ukupno 12 girusa dobivena je vrednost za arit. sredinu:

za tačku  $\circ A'$  ...  $\beta'_A = 179^{\circ} 59' 54''.25$  sa sred. greškom  $m'_A = \pm 0,35''$   
 za tačku  $\circ B'$  ...  $\beta'_B = 179^{\circ} 59' 51''.71$  sa sred. greškom  $m'_B = \pm 0,48''$

Dužine trigonometrijskih strana:

$d_1 = 7159,84 \text{ m}$   
 $d_2 = 3019,53 \text{ m}$   
 $d_3 = 1447,10 \text{ m}$  (sl. 4)

dobivene su iz koordinata, pošto su paralelno izvršena i potrebna merenja za određivanje tačaka  $\circ A'$  i  $\circ B'$  u trigonometrijskoj mreži. Tačka  $\circ A'$  određena je kao ekscentar trig. tačke  $\Delta 1217$ , pošto se nalazi u neposrednoj blizini od ove, dok je tačka  $\circ B'$  određena iz osam pravaca (3+5).

PRETHODNA OCENA TAČNOSTI

Stanica	Ugao	Girus	Odakle je uzeto	U g a o			Δ	±	δ <sub>1</sub>	δ <sub>1</sub> <sup>2</sup>
				°	'	"				
° B'	1—2	1	2.20	179	59	55.0	—	3.29	10.824	
		2	"			51.0	+	0.71	0.504	
		3	"			51.0	+	0.71	0.504	
		4	"			52.5	+	0.79	0.624	
		5	"			52.0	—	0.29	0.084	
		6	"			52.0	—	0.29	0.084	
	° A' Mramorje — Δ1272 <sub>s</sub>	1—2	1	"			49.5	+	2.21	4.884
			2	"			50.0	+	1.71	2.924
			3	"			53.0	—	1.29	1.664
			4	"			53.5	—	1.79	3.204
			5	"			51.5	+	0.21	0.044
			6	2.20			49.5	5.5	+	2.21
						620.5	+	0.02	30.228	

$$\beta'_B = 179 \quad 59 \quad 51,71$$

$$n = 12$$

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{30.228}{11}} = \pm \sqrt{2.248_0}$$

$$m_0 = \pm 1,66''$$

$$m'_B = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n(n-n)}} = \pm \sqrt{\frac{30.228}{132}} = \pm \sqrt{0,229_0}$$

$$m'_B = \pm 0,48''$$

Iz uglova  $\beta'_A$  i  $\beta'_B$  kao i dužina  $d_1$ ,  $d_2$  i  $d_3$  izračunata su upravna otko-  
 janja tačkaka ° A' i ° B' od pravca Δ1452<sub>s</sub>—Δ1272<sub>s</sub> pa je dobiveno

$$e_A = 0,113 \text{ m i } e_B = 0,076 \text{ m (sl. 4)}$$

Kada su vrednosti za dužine  $e_B$  i  $e_A$  po veličini i pravcu nanete na teren,  
 dobiveni su položaji tačkaka ° A<sub>Z</sub> i ° B<sub>Z</sub> koje leže na osovini tunela.

### 3. Merenje prelomnih horizontalnih uglova na tačkama ° A<sub>Z</sub> i ° B<sub>Z</sub>

Da bi se proverio položaj tačkaka ° A<sub>Z</sub> i ° B<sub>Z</sub> u odnosu na pravu Δ1452<sub>s</sub>—  
 Δ1272<sub>s</sub> izvršeno je merenje horizontalnih uglova na tačkama ° A<sub>Z</sub> i ° B<sub>Z</sub> u  
 po 18 girusa pa su dobiveni sledeći rezultati:

$$\beta_{AZ} = 179^\circ - 59' - 59'',18 \text{ sa srednjom greškom } m_{AZ} = \pm 0'',22$$

$$\text{i } \beta_{BZ} = 180^\circ - 00' - 00'',14 \text{ sa srednjom greškom } m_{BZ} = \pm 0'',30$$

PRETHODNA OCENA TAČNOSTI

Stanica	Ugao	Girus je uzeto	Odakle	U g a o			Δ	±	δ <sub>1</sub>	δ <sub>1</sub> <sup>2</sup>
°A' — °B' Javorak Δ1452 <sub>s</sub>	1—2	1	2.20	179	59	55.5	—	1.25	1.562	
		2	"			52.0	+	2.25	5.062	
		3	"			53.0	+	1.25	1.563	
		4	"			53.0	+	1.25	1.562	
		5	"			55.5	—	1.25	1.563	
		6	"			55.0	—	0.75	0.562	
		1	"			55.0	—	0.75	0.563	
		2	"			53.0	+	1.25	1.562	
		3	"			55.0	—	0.75	0.562	
		4	"			55.5	—	1.25	1.563	
		5	"			54.5	—	0.25	0.062	
		6	2.20			54.0	+	0.25	0.063	
					651.0	3.5	+	0,00	16.249	
			B' <sub>A</sub> = 179	59	54.25					

n = 12

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{16.249}{11}} = \pm \sqrt{1,4772}$$

$$m = 1,22''$$

$$m'_A = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n(n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{16\ 249}{132}} = \pm \sqrt{0,1231}$$

$$m'_A = \pm 0,35''$$

Brojne vrednosti merenja i ocena tačnosti prikazani su u trig. obrascu O. T. na str. 434 i 435.

Ostupanje uglova β<sub>Az</sub> i β<sub>Bz</sub> od 180° 00' 00'',00 koja iznose:

$$\Delta\beta_{Az} = +0'',42 \text{ i } \Delta\beta_{Bz} = -0'',14 \text{ ukazuju}$$

na to da su dalje korekture nepotrebne tj. da tačke °A<sub>z</sub> i °B<sub>z</sub> praktično leže na osovini tunela.

Obeležavanje položaja glavnih tačaka na osovini tunela na terenu izvršeno je u gvozdanim bolcnama sa rupicom kao centrom usađenim u betonske blokove ili u čvrste stene.

Unoseći dobivene vrednosti uglova β<sub>Az</sub> = 179° 59' 59'',58 i β<sub>Bz</sub> = 180° 00' 00'',14 kao prelomne uglove u poligonski vlak

Δ1452<sub>s</sub> — °A<sub>z</sub> — °B<sub>z</sub> — Δ1272<sub>s</sub> a vrednosti dužine d<sub>1</sub> = 7159,84 m

PRETHODNA OCENA TAČNOSTI

Stanica	Ugao	Girus	Odakle je uzeto	U g a o			Δ	±	δ <sub>1</sub>	δ <sub>1</sub> <sup>2</sup>
				°	'	''				
°B <sub>Z</sub> Javorak	1—2	1	2.21	179	59	59.5		+	0.64	0.410
		2	"			59.5		+	0.64	0.409
		9	"			59.5		+	0.64	0.410
		6	"			61.5		—	1.36	1.850
		5	"			59.5		+	0.64	0.409
		4	"			61.5		—	1.36	1.850
		7	"			58.0		+	2.14	4.580
		8	"			60.0		+	0.14	0.020
		3	"			59.5		+	0.64	0.410
°A <sub>Z</sub> Mramorje — Δ1272 <sub>s</sub>	1—2	1	"			60.5		—	0.36	0.129
		2	"			59.0		+	1.14	1.300
		3	"			58.0		+	2.14	4.580
		4	"			61.5		—	1.36	1.850
		5	"			62.5		—	2.36	5.570
		6	"			59.5		+	0.64	0.409
		7	"			60.5		—	0.36	0.129
		8	"			60.5		—	0.36	0.129
		9	2.21			62.0		—	1.86	3.460
								1082.5		+
arit. sredina				180	00	00,14				

$$n = 18$$

$$m_0 = \pm \frac{[\delta^2]}{n-1} = \pm \frac{27.904}{17} =$$

$$= \pm 1.6414 = \pm 2.18''$$

$$m_{BZ} = \pm \frac{[\delta^2]}{n(n-n)} = \pm \frac{27.904}{300} = \pm 0.09119 = \pm 0,30''$$

$d_2 = 3019,55$  m i  $d_3 = 1447,10$  m (sl. 4) uzete iz triangulacije, sračunate su koordinate tačaka °A<sub>Z</sub> i °B<sub>Z</sub> u vlaku.

Istovremeno uz obeležavanje pravca osovine tunela izvršena su potrebna opažanja pa su tačke °A<sub>Z</sub> i °B<sub>Z</sub> sračunate i kao trigonometriške tačke u postojećoj trigonometriškoj mreži. Ako uporedimo dobivene vrednosti koordinata tačaka °A<sub>Z</sub> i °B<sub>Z</sub> onih iz triangulacije sa onim vrednostima iz vlaka Δ1452<sub>s</sub>—°A<sub>Z</sub>—°B<sub>Z</sub>—Δ1272<sub>s</sub> dobićemo neznatne razlike koje su ovde brojno prikazane.



PRETHODNA GCENA TAČNOSTI

Stanica	Ugao	Girus	Odakle je uzeto	U g a o			$\Delta$	$\pm$	$\delta_1$	$\delta_1^2$
				0	,	"				
°A <sub>z</sub> Mramorje	1-2	1	2.22	179	59	60.5	-	0.92	0.846	
		2	"			61.0	-	1.42	2.016	
		3	"			60.0	-	0.42	0.176	
		4	"			59.0	+	0.58	0.336	
		5	"			60.0	-	0.42	0.176	
		6	"			60.0	-	0.42	0.176	
		7	"			60.0	-	0.42	0.176	
		8	"			58.0	+	1.58	2.496	
		9	"			61.0	-	1.42	2.016	
°B <sub>z</sub> Javorak $\Delta 1452_s$	1	"				60.0	-	0.42	0.176	
	2	"				59.5	+	0.08	0.006	
	3	"				59.0	+	0.58	0.336	
	4	"				60.5	-	0.92	0.846	
	5	"				58.5	+	1.08	1.166	
	6	"				58.0	+	1.58	2.496	
	7	"				59.0	+	0.58	0.336	
	8	"				58.5	+	1.08	1.166	
	9	2.22					60.0	-	0.42	0.176
						1072.5	-	0.06	15.118	

1 it. sredina  $179^0 59' 59'',18$

n = 18

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{15.118}{17}} = \pm \sqrt{0.8893} = \pm 0,94''$$

$$m_{A_z} = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n(n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{15.118}{306}} = \pm \sqrt{0.0494} = \pm 0,22,$$

Za tačku:

$$^{\circ}A_z \Delta y_A = +0,04 \text{ m}$$

$$\Delta x_A = -0,03 \text{ m}$$

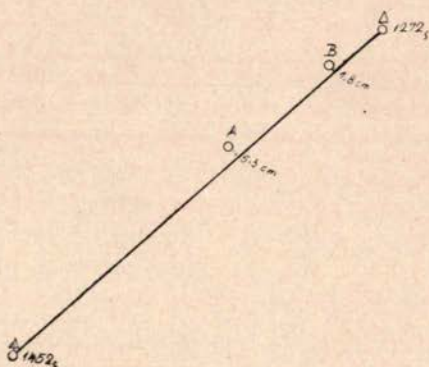
$$^{\circ}B_z \Delta y_B = +0,01 \text{ m}$$

$$\Delta x_B = \pm 0,00 \text{ m}$$

Prema koordinatama tačaka °A<sub>z</sub> i °B<sub>z</sub> uzetih iz triangulacije odstupanje od pravca za °A<sub>z</sub> iznosi 5,3 cm i za °B<sub>z</sub> 1,8 cm (sl. 5).

Kada se uzme u obzir da postojeća triangulacija nije rađena u cilju obeležavanja osovine tunela jasno je da na terenu direktno obeleženi pravac

$\Delta 1452_s - \circ A_z - \circ B_z - \Delta 1272_s$  svojom tačnošću prikazanom u obrascu O. T. ustvari kontroliše triangulaciju. Neznatna bočna odstupanja tačkaka  $\circ A_z$  i  $\circ B_z$  od pravca  $\Delta 1452_s - \Delta 1272_s$  dobivena po koordinatama iz triangulacije, naime  $e'_A = 5,3$  cm i  $e'_B = 1,8$  cm (sl. 5) očevidno ukazuju na činjenicu da je i postojeća triangulacija u oblasti tunela (sl. 2) po kvalitetu na takvom nivou da se sa sigurnošću može koristiti kao osnova za obeležavanje osovine tunela.



sl. 5

Iako se ne želi umanjiti značaj triangulacije nema sumnje da će rezultati preciznog merenja uglova na tačkama  $\circ A_z$  i  $\circ B_z$  naime:

$$\beta_{Az} = 179^\circ 59' 59'',18 \text{ i } \beta_{Bz} = 180^\circ 00' 00'',14 \text{ (sl. 4)}$$

biti najbolji odraz obeleženog pravca odnosno prave linije:

$$\Delta 1452_s - \circ A_z - \circ B_z - \Delta 1272_s \text{ u horizontalnom smislu.}$$

#### STVARNA DUŽINA OSOVINE TUNELA IZMEĐU PROJEKCIJA TAČAKA $\Delta 1452_s - \Delta Y.T_z$ .

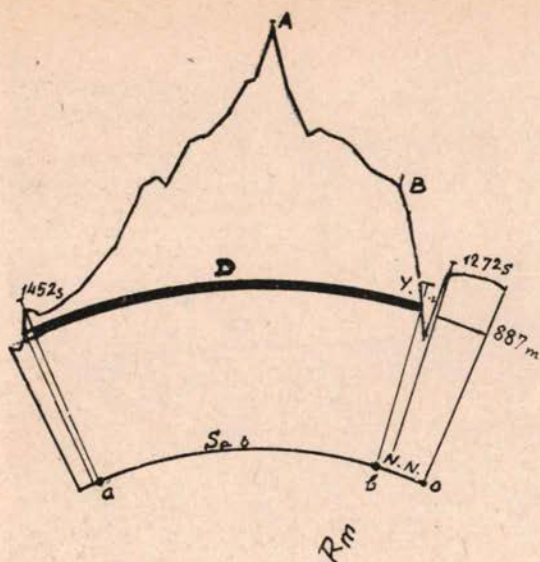
Iz neredukovanih koordinata tačkaka  $\Delta 1452_s$  i  $\Delta Y.T_z$  dobivene su vrednosti koordinatnih razlika:

$$\Delta \bar{y} = +7960,81 \qquad \Delta \bar{x} = +7667,98 \text{ na}$$

temelju čega su izvedena sledeća računanja.

Ako stvarnu dužinu tunela između projekcija tačkaka  $\Delta 1452_s$  i  $\Delta Y.T_z$  na osovinu tunela označimo sa D (vidi sl. 6) onda će biti:

$$D = S_{ab} + \frac{S_{ab} \cdot H_m}{R_m} \dots 1)$$



Sl. 6

gde je:

$S_{ab}$  — dužina geodetske linije na elipsoidu

$H_m = 887$  m — kota osovine tunela

$R_m$  = srednji poluprečnik obrtnog elipsoida

za FNRJ  $\log R_m = 6.80460$  (u metrima).

Logaritam dužine geodetske linije na elipsoidu:

$$\log S_{ab} = \log d_{ab} - u \dots \dots \dots 2)$$

gdje je  $\log d_{ab} = \log \Delta \bar{y} - \log \sin v_a^b = \log \Delta \bar{x} - \log \cos v_b^a$

$$u = \omega_a + \omega_b$$

Računanjem dobivena je vrednost za  $\log d_{ab} = 4.0434866$

za  $u = 365$

Prema tome je  $\dots \dots \dots \log S_{ab} = 4.0434501$

Odnosno  $S_{ab} = 11052,234$  m (sl. 6)

(dužina geodetske linije na elipsoidu)

Ako stavimo da je:

$$\frac{S_{ab} \cdot H_m}{R_m} = \Delta S$$

dobićemo vrednosti za  $\Delta S$ :

- $\log S_{ab} = 4.04345$
- $\log H_m = 2.94792$
- c  $\log R_m = 3.19540$
- $\log \Delta S = 0.18677$
- ili  $\Delta S = 1.537$  m.



Sl. 7 Snimak kanjona »Komarnica« sa izgledom položaja trigonom. tačaka  $YT_z$  i  $1272_s$

Iz svega izloženog izlazi da je stvarna dužina tunela  $D = S_{ab} + \Delta S$  između projekcija tačaka  $\Delta 1452_s$  i  $\Delta Y. T_z$  jednaka:

$$D = 11052.234 \text{ m} + 1,537 \text{ m} = 11053.771 \text{ m.}$$

*Sretnu Novu 1959 Godinu*

*svim suradnicima, pretplatnicima*

*i oglašivačima Geodetskog Lista*

želi

**UREDNIŠTVO**