

ISKOLČENJE TUNELA ZA ODVODNJU KONAVOSKOG POLJA

Konavosko polje smješteno je jugoistočno od Dubrovnika između Cavtata i Hercegovog. Kao i ostala kraška polja ima oblik zatvorene kotline. Ono je također prirodni izvor snabdijevanja poljoprivrednim proizvodima ovog kraja. Međutim i kod njega, kao i kod drugih kraških polja postoji problem vode u vegetativnom periodu. U njega se sa površine od preko 120 km² slijevaju oborine površinski ili podzemno. Kroz njega protiče rijeka ponornica Ljuta, koja je svoje ime dobila po selu blizu kojega izvire. Smatra se da je prirodni nastavak također ponornice rijeke Trebišnjice. Prima jednu pritoku Konavošticu, a to je obična bujica-potok. Postoji još jedan potok, koji ponire neposredno u ponore, a zove se Kopačica. Ponornica Ljuta ponire nedaleko sela Grude cca 2 km blizu ceste prema Dubrovniku. Tu je još dosta dano uređen ponor, u koji je ponirala glavna količina vode.

Međutim, nije bio riješen problem bujica ovoga kraja, niti se okolni krš pošumljavao, da bi se spriječilo erozivno djelovanje vode. Uslijed toga su se potoci i postojeći kanali, a i samo korito ponornice, te konačno sami ponori, postepeno zamuljivali i zasuli krupnim kamenjem. Konavoštica uslijed toga nije imala više svoga korita, pa kad je naišla voda, ona se direktno slijevala u polje, nanoseći kamen, a odnoseći plodne sastojine tla.

Na taj način su nastajale poplave, koje su trajale preko cijele zime, zadržavale se i u proljeće, a katkada i do ljeta. Poplava je zapravo zahvaćala smo nizinski dio polja, koji ima površinu cca 1150 ha, a to je između kota 45 m i 56 m. Poplava je dosizala u zimskom periodu do kote 52,50 m.

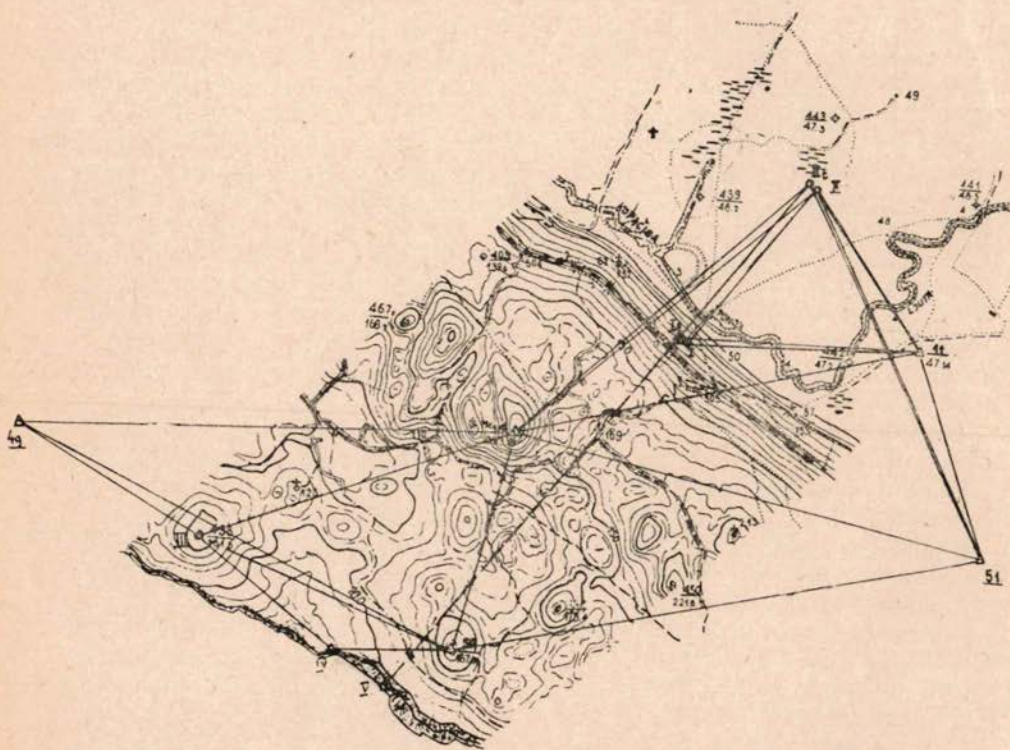
Katastrofalna visoka voda dosegla je 1889. god. bila kotu 59,38 m, to znači da je voda bila iznad ceste, čija je kota 58,73 m (vidi sl. 2). Vrlo visoka voda bila je na visini od 55,00 m u godinama 1901. i 1915.

Poplava, koja je normalno plavila ovaj nizinski dio polja zahvaćala je površinu od 710 ha. Mnogi se seljaci još sjećaju, da je na ovom dijelu polja rasla vinova loza i drugo kulturno bilje. Sada se 430 ha ovog polja uopće nije obrađivalo. Ostalih 280 ha se slabo iskorišćavalo, tako da je površina od 710 ha zemljišta, koje bi obzirom na veoma povoljne klimatske prilike moglo nositi visoke prinose, postalo pašnjak ili livada s tendencijom da se pomalo pretvori u močvarno područje.

U preostalom dijelu polja, koje uslijed veće visine nije bilo plavljeno uređen je bo primitivan sistem navodnjavanja, gdje osim vinove loze Ko-

navljani uzgajaju rano povrće i voće i gdje zemljište može zahvaljujući blagom podneblju i dovoljnoj količini vode dati visoke prinose. Međutim uslijed primitivnog sistema navodnjavanja nije se mogla sva količina vode, koju daje Ljuta, racionalno iskoristiti.

Potreba odvodnje i općenito melioracije Konavoskog polja dugo je još prije rata bio predmet raznih rasprava i u većoj mjeri političkih špekulacija pred izbore. Međutim, izuzev izvjesnih predradnji i započetog bušenja tunela s morske strane, nije se na tome mnogo uradilo. Izgleda da se bila čak i kompromitirala ideja o odvodnji ovog polja, jer kako su seljaci znali reći već su to polje inženjeri premjerali sto puta uzduž i popreko, a još uvijek ništa nije bilo od onoga što se obećavalo.



Sl. 1. Osovina tunela i projekat mreže

Nekoliko godina nakon oslobođenja pristupilo se rješavanju ovoga pitanja kompleksno t. j. ne samo odvodnje, nego i melioracije čitavog polja. Odvodnjom suvišne vode ne bi se pravilno riješio problem i iskoristila voda. U novom projektu voda se trebala tunelom odvesti u more, ali na taj način, da se izvjesno vrijeme zadrži na polju, kako bi se donesena zemlja taložila. S druge strane može se voda zadržati i za potrebe navodnjavanja u sušno doba godine. Poplava se i u novom projektu predviđa, međutim ona će biti neuporedivo kratkog trajanja cca 8 dana, tako da

uopće ne će ugroziti obradu zemljišta i usjeve, nego će naprotiv imati i svoju korisnu funkciju, koja je ranije istaknuta.

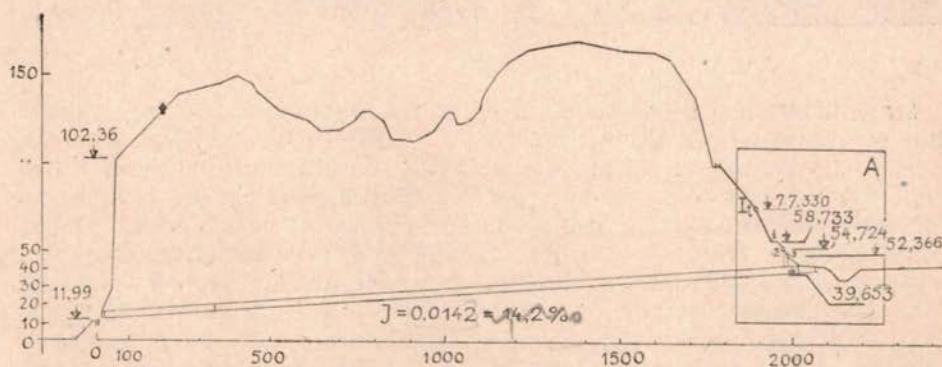
Raniji projekat zamišljao je rješenje odvodnje ovog polja pretežno radi zaštite od poplave postojećeg aerodroma. U tu svrhu projektiran je cio tunel i započeto njegovo bušenje s morske strane. Projekat je izradio Ing. Josip Mamatzi.¹ Sa ulazne strane nije bilo ništa započeto niti označeno mjesto na trasi. Očito je postojala namjera, da se tunel buši samo s jednog kraja, pa gdje se na drugi izađe. To je vjerojatno nastaloj uslijed toga, što kako će se kasnije vidjeti, konfiguracija terena je postavljala za tadašnje doba veoma teške uslove da se elementi iskolčenja odrede obostrano. Možda je ovakovo rješenje konveniralo, obzirom na jednostavno odvoženje iskopanog materijala na izlaznoj strani i njegovog bacanja neposredno u more. Ovo naravno nije odgovaralo novom projektu, pa je trasu tunela trebalo tako projektirati da se može kopati s oba kraja i da se mogu izgraditi potrebni uređaji na ulazu. Svakako se moralo iskoristiti postojeći već iskopani dio tunela na izlaznoj strani u dužini od 360 m.

Trebalo je dakle odrediti elemente za iskolčenje tunela u pravcu, kod čega je zadana izlazna točka i pravac već izbušenog dijela. To znači da je trebalo odrediti položaj ulazne točke tunela na ovom zadanom pravcu, smjer bušenja, te visinske odnose između ulazne i izlazne točke. Ovaj dio projekta bio je povjeren piscu ovoga članka. Na terenskim radovima pomagali su Ing. Veljko Petković i Ing. Antun Sindik.

Položaj trase tunela prikazan je na isječku topografske karte sl. 1.

Zadatak je sam po sebi u osnovi jednostavan. Međutim obzirom na specifičnu konfiguraciju terena i uopće specifičnost ovoga terena, koji je na ulaznoj i izlaznoj strani gusto obrastao za ovaj kraj vrijednim drvećem, bilo je potrebno tome prilagoditi metodu određivanja elemenata iskolčenja, što smatram da će biti zanimljivo da se detaljnije izloži.

Tunel treba da se probije kroz brdo, čije se padine na ulaznoj strani spuštaju u polje relativno blago, dočim sa izlazne strane veoma strmo skoro okomito u more. To su t. zv. Konavoske stijene. Izlaz tunela bio je



Sl. 2. Uzdužni presjek terena po osovini trase

¹ Gjurović: Odvodnja poplavnih voda Konavoskog polja — Građevinar Zagreb 1953. strana 53.

izabran nedaleko mjesta, gdje ponornica Ljuta izlazi u more^u u obliku jakog vira. Na podnožju ovih stijena 12 m od razine mora izabrana je i umjetno proširena mala platforma, sa koje je počelo bušenje i na kojoj je bila sagrađena malena kućica za smještaj kompresora. Njeni ostaci vide se na slici 3b.

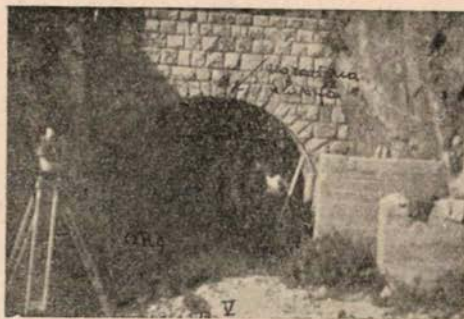
Kako ti visinski odnosi izgledaju ilustrirat će najbolje uzdužni presjek terena po osovini trase (sl. 2).

Međutim ne će biti na odmet da se prikažu i dva snimka (sl. 3a i 3b), od kojih prvi prikazuje dio stijene lijevo od izlaznog portala gledajući u smjeru trase. Snimak nije najbolje uspio, ali se na njemu ipak vidi, na lijevom rubu dolje vir ponornice, a gore mjesto na kojem je izabrana orijentaciona točka IV. za iskolčenje i kontrolu smjera sa izlazne točke V. Na slici 3b vidi se portal, koji je bio ranije izgrađen, te položaj izlazne točke V i repera R₉, kao i položaj u portalu ugrađene skobe (klamfe), koja je označavala smjer osovine tunela.

Najjednostavniji način prenosa datog smjera bio bi iskolčenjem preko brda. Međutim lako je vidjeti iz slike uzdužnog presjeka (sl. 2), da se takva metoda radi konfiguracije terena, nije mogla primijeniti. Preostalo je da se taj smjer prenese na osnovu jedne ili više orijentacionih točaka. U ovom slučaju mogla se pronaći samo jedna pogodna točka na strane točka IV na slici 1.



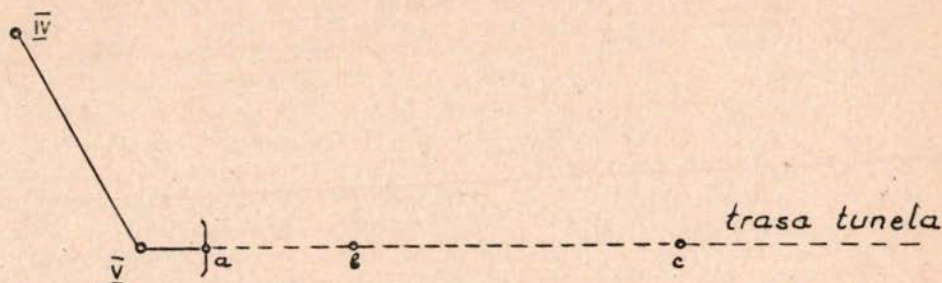
Sl. 3a



Sl. 3b

Smjer izbušenog dijela tunela nije bio ničim određen, i to je predstavljalo posebnu teškoću. Ranija osovina tunela nije bila vidljiva. Postojao je jedan drveni kolac u stropu na udaljenosti od cca 20 m od ulaza i ništa drugo. Da bi se odredila osovina postojećeg tunela uzeta je sredina portala, pa je na produženju ovako označenog pravca stabilizirana izlazna točka tunela V, koja je u daljnjim računanjima označavala izlaznu točku tunela. Ovaj je smjer sada produžen do kraja izbušenog dijela i ta je krajnja točka stabilizirana. Na portalu je također smjer trase zabilježen na ugrađenoj skobi (Sl. 4 točke a, b, c). Ovako obilježeni smjer tunela na terenu trebalo je sada u prostoru matematički odrediti, da bi se na njemu s druge strane brda mogle odrediti potrebne točke. U principu je rješenje jednostavno: Potrebno je postaviti geodetsku osnovu, u kojoj bi se položajno odredile točke IV i V.

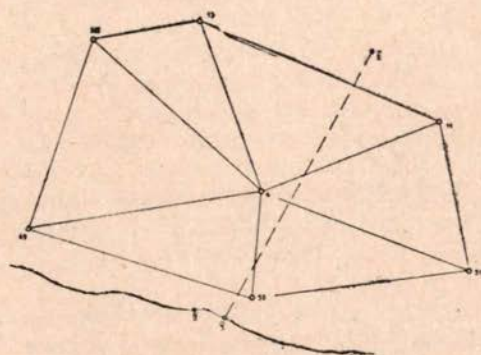
Na ovom području postajala je triangulacija III. i IV. reda, koju je svojedobno bio postavio Geozavod iz Zagreba, a kasnije dopunio Georad iz Beograda. Slika 5 ilustrira tu mrežu u blizini osovine trase.



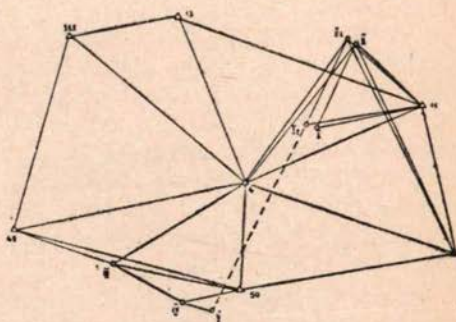
Sl. 4

Provjeravanjem kvalitete ove mreže kontrolom odstupanja pravaca nakon izjednačenja, zatvaranjem trokuta i računanjem srednje pogriješke koordinata, ustanovljeno je, da se ova mreža može koristiti za određivanje točaka ovoga tunela. Međutim trig. 13 nije se mogao pronaći u ravnici, pa je to diktiralo drugačije rješenje.

Na slici 5b rimskim brojkama označene su točke, koje su se neophodno morale odrediti, da bi se došlo do elemenata iskolčenja. Na sjevernoj (ulaznoj) strani zahtijevao je projektant tunela, obilježavanje nekoliko točaka na osovini trase. Izabrane su dvije točke I i II od prilike u blizini vjerojatnog položaja trase prema karti. Točka II je pravilnim četverokutom vezana za postojeće točke triangulacije. Čitava osnovna mreža, u koju su ušle nove točke II i III ponovo je opažana i izjednačena odjednom metodom uslovnih opažanja. Za određivanje linearnih odnosa u mreži mjerena je osnovica t. j. dužina trigonometrijske strane 11 — II neposredno. Iz zemaljske mreže uzete su koordinate točke 11, pa su na osnovu njih i izjednačenih elemenata u mreži i smjera trig. 51—11 sračunate koordinate ostalih točaka u mreži.



Sl. 5a



Sl. 5b

Srednja pogreška opažanog pravca u mreži nakon izjednačenja bila je:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{u}} = \sqrt{\frac{[kw]}{u}}$$

$$m = \pm 5'',7$$

Kako se može odmah primijetiti točke I, IV i V nisu uvrštene u ovu mrežu. Točka I je bila tako odabrana, da bi se pomoću nje iznad puta mogla iskolčiti neka točka na trasi, pa se ona nije mogla drugačije povezati s postojećom mrežom nego je to na slici prikazano.

Na južnoj strani pronađena je točka IV kao jedina orijentaciona točka, koja se mogla vidjeti sa točke V. Da bi se ona mogla pravilno priključiti na postojeću mrežu bilo bi potrebno postaviti malu mrežu trokuta između trig. 49, 4 i 50. U tu svrhu bilo bi potrebno upravo devastirati postojeću borovu šumu, koja između točaka III, IV i 50 dosiže upravo do ruba stijena. Od takovog sam riješenja odustao, bilo mi je žao šume, i odlučio sam da se koordinate točke IV odrede iz jednog, makar i nepovoljnog trokuta, kod čega su opažanja sa točke IV, za priključak na mrežu, čak izvršena ekscentrično.

Međutim da bi se isključile sistematske pogreške u ovim mjerenjima koristio se kod opažanja višestativni sistem s prisilnim centriranjem Zeissove konstrukcije. Mjerenja su vršena Zeissovom teodolitom Th II. Tako je suma kuteva u trokutu III-50-IV iznosila $180^{\circ}00'21''$, što je za ove udaljenosti i za ove terenske okolnosti bio zadovoljavajući rezultat.

Koordinate točke V određene su polarno mjerenjem prelomnog kuta u točki IV i udaljenosti IV—V. Udaljenost je mjerena paralaktički dvostrukim mjerenjem na pomoćnu bazu, koja se jedanput postavila u točki V, a drugi put u točki IV.

Oblik paralaktičkih jedinica, bio je uslijed konfiguracije terena krajnje nepovoljan. Zato se ova dužina kontrolirala još sa dva mjerenja, gdje je letva bila postavljena neposredno na kraju dužine. Svakako da su usvojene vrijednosti iz prvih mjerenja. Upotrebljena je Zeissova invarna letva 3 m dužine. Dužina je iznosila 241,38 m.

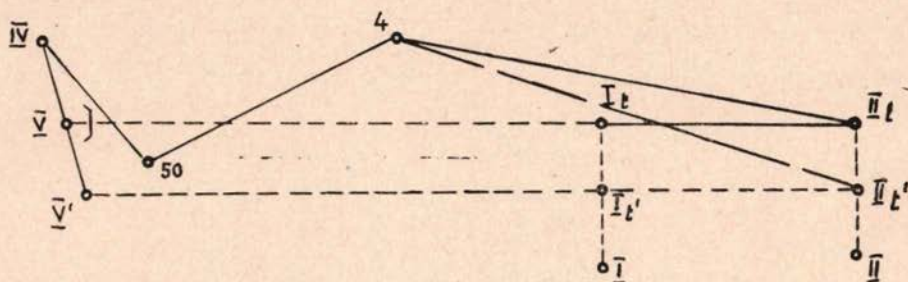
Smjer trase određen je jednostavnim prenosom smjernog kuta preko točaka IV i V također koristeći višestativni sistem s prisilnim centriranjem.

Očito je, da u određivanju položaja točke IV i V nema potrebnih kontrola. Uslijed toga bi se moglo lako dogoditi da su koordinate točke V određene sa stanovitom sistematskom pogreškom. Budući da je smjer trase određen neposrednim mjerenjem t. j. prenosom smjera preko stativa, to bi se u slučaju sistematske pogreške u dužini strane IV—V, odnosno u položaju točke V moglo dogoditi da bude trasa, matematički izraženo, paralelno pomaknuta, od one koja je na terenu materijalizirana, za stanovitu veličinu koliko iznosi sistematska pogreška u položaju točke V u koordinatnom sistemu trase.

Rješenje zadatka t. j. određivanje položaja potrebnog broja točaka na ulaznoj strani predviđeno je bilo tako, što bi se nakon određivanja smjera osovine trase i koordinata točke V jednostavnom transformacijom koor-

dinata točkara I i II našle koordinate točka I_t i II_t na trasi i na taj način elementi za njihovo iskolčenje na trasi.

Spomenuta nesigurnost u određivanju koordinata točke V uvjetovala je niz kontrola, o kojima će biti kasnije govora, budući da bi veća pogreška u ovim koordinatama, mogla imati za posljedicu da se tunel iskolčuje i buši ne po jednoj nego po dvije međusobno paralelne linije: Sa ulazne strane prema proračunatim i pogrješno iskolčenim točkama na trasi, a na izlaznoj strani prema postojećoj na terenu obilježenoj trasi, kako to prikazuje sl. 6.



Sl. 6

U slučaju grube pogreške u dužini IV—V pomakla bi se trasa paralelno za izvjesnu dužinu. To bi se isto dogodilo ako bi i koordinate točke IV bile pogrešno određene

Budući da su se koordinate točkara II_t i I_t odredile transformacijom koordinata, u koju su ušle i koordinate točke V kao početne date veličine, to bi se odredile i na terenu stabilizirale ne točke II_t nego II'_t i prema tome bi se tunel bušio ne sa točke II_t nego II'_t , a sa izlazne strane sa točke V, jer je ona na terenu data.

Kontrola smjera, određena na osnovu računanja ovog smjera iz koordinata točke V i II_t bit će samo kontrola računanja a ne mjerilo točnosti i pouzdanosti određivanja ovih elemenata sa ulazne strane.

a) Smjer trase određen prenosom preko stativa

	prel. kutovi			smjerovi		
III	°	'	''	°	'	''
				130	19	45
IV	166	22	20	116	42	05
V	102	10	54	38	52	59

II_t

b) Smjer trase računat iz koordinata točkara V. i II_t

	y		x	
II_t	28	647,66	9	776,90
V	26	937,56	7	656,33
	+ 1	710,10	+ 2	120,57

$$V_v^{II_t} = 38^\circ 53' 02''$$

Razlika ovih veličina od 3'' je posljedica grješaka u računanju. Radi toga su razumljiva kontrolna mjerenja, koja su se izvela na izlaznoj strani unatoč veoma teškim terenskim okolnostima.

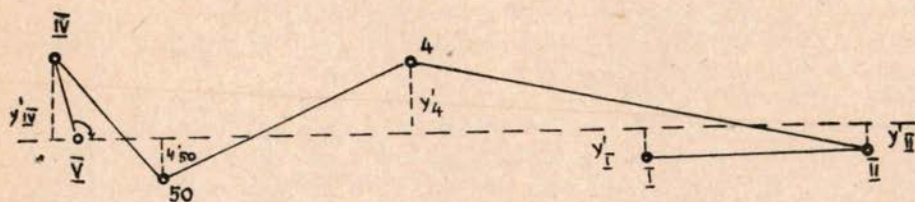
Iskolčenje točaka I_t i II_t na trasi. Za ovu svrhu najjednostavnije je, a i za kasnije kontrolu u tunelu neophodno, izračunati koordinate okolnih točaka triangulacije u koordinatnom sistemu trase. Točka V je uzeta kao koordinatni početak, a smjer $v = 38^{\circ} 52' 59''$, kao kut rotacije. Za transformaciju su se koristile formule:

$$y'_n = (y_n - y_v) \cos v - (x_n - y_v) \sin v = b \Delta y - a \Delta x$$

$$x'_n = (y_n - y_v) \sin v + (x_n - x_v) \cos v = a \Delta y + b \Delta x$$

Na ovaj način određene su koordinate u sistemu trase

	y'	x'
II	+ 28,84	+ 2 724,20
I	+ 22,26	+ 1 969,75
11	+ 808,26	+ 2 469,03
4	- 253,30	+ 1 140,77
51	+ 1660,49	+ 1 452,69
50	+ 122,41	+ 282,30



Sl. 7

Iz ovih koordinata se vidi koliko su točke II i I daleko od trase. To su veličine y' . Iz ovih veličina sračunali su se elementi iskolčenja ovih točaka na trasu polarnim načinom.

Ti su elementi slijedeći:

Za točku I_t sa I

$$d_I = 22,26 \text{ m}$$

$$\alpha_I = 269^{\circ} 33' 32'' \text{ — orij. točka II}$$

Za točku II_t sa II

$$d_{II} = 28,84 \text{ m}$$

$$\alpha_{II} = 89^{\circ} 33' 32'' \text{ orij. točka I}$$

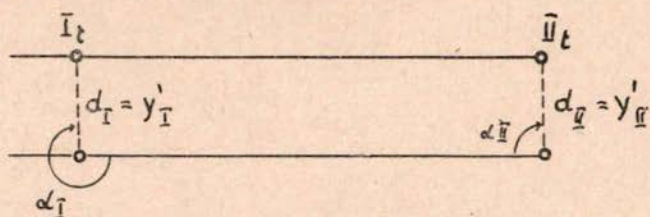
smjerni kut:

$$v'_{II} = 180^{\circ} 26' 28'' \text{ u sistemu trase}$$

Iskolčenje polarnim načinom izvedeno je u dvije faze U prvoj je najprije u smjeru kuta α odmjerena dužina d . To je privremeno obilježeno većim drvenim kolcem za točku II_t, dok je točka I_t označena bojom na

kamenu. Sada je kut α'_I odnosno α'_{II} mjereno u nekoliko girusa i smjer korigiran za malu kutnu diferencu u linearnom smislu po formuli:

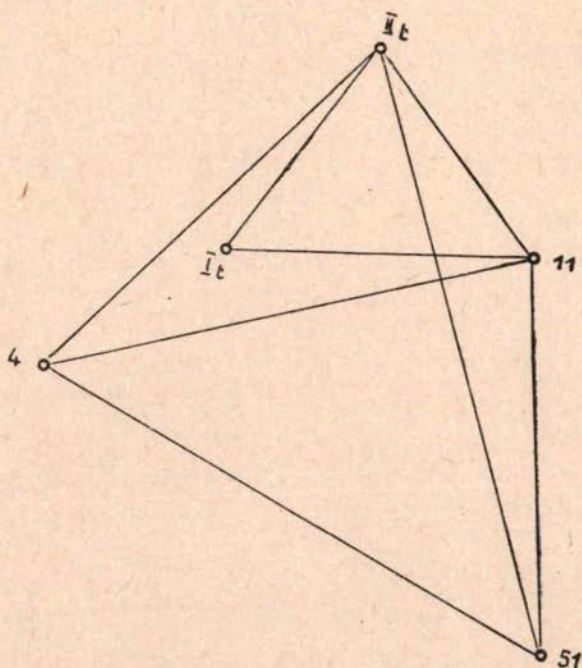
$$\Delta q = \frac{\Delta \alpha}{\rho} D$$



Sl. 8

Kad je naden definitivni položaj točke I_t i II_t izvršena je kontrola ovog iskolčenja ponovnim mjerenjem kuteva u mreži kako pr.kazuje slika 9. Na osnovu ovih mjerenja sračunate su koordinate točaka I_t i II_t na trasi u državnom koordinatnom sistemu, pa je pomoću ovih koordinata izlazne točke V sračunat smjerni kut trase, koji sada iznosi:

$$v^V_{III} = 218^\circ 58' 02''$$



Sl. 9

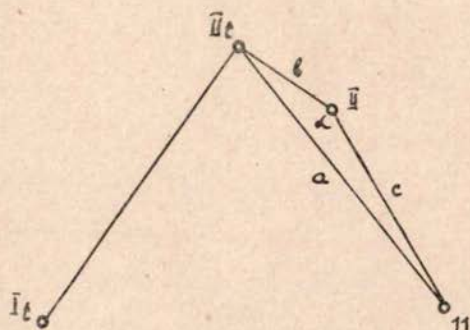
Međutim ovdje imamo još jednu efikasnu kontrolu, a to je upoređivanje mjerenih kuteva sa računatim iz razlike smjerova. Kako prikazuju navedene tabele, te su kontrole dale također pozitivne rezultate.

Kutevi mjereni ° , ' , ''		računati ° , ' , ''		r - m	sin m	d
					1718,9908	
4	29 32 34	29 32 35		+1	0,44 308	847,60
II _t	81 34 18	81 34 17		-1	0 98 920	1700,42
11	68 53 05	68 53 08		+3	0,93 286	1603,58
179 59 57		180° 00-00		+3		
I _t	53 26 48	53 26 40		-8	0,80 330	847,60
II _t	72 28 42	72 28 45		+3	0,95 360	1006,19
11	54 04 28	54 04 35		+7	0,80 978	854,44
179 59 58		180 00 00		+2		

Kako se vidi izračunate su i dužine u ovim trokutima, kod čega je kao početna uzeta dužina trigonometrijske strane 4-11 iz mreže (4-11 = 1700,42 m). Računata je dužina I_t - II_t iz ova dva trokuta i ona iznosi 854,44 m, dok je ova ista dužina iz razlike apscisa iznosila 854,45 m dakle razlika je 1 cm.

Dužina između točaka 11 i II_t može se izračunati i iz mjerenih elemenata prema slici 10

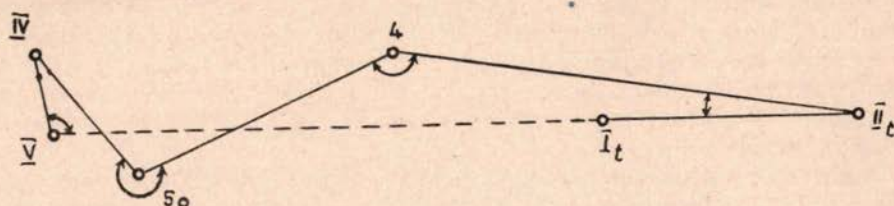
baza	c = 820,14 m	b = 28,84	c = 820,14
ordinata	b = 28,84 m	2b = 57,68	α = 161° 52' 25''
mjereni kut		a'' = 718 418,62	cos α = 0,95 035
	α' = 161° 52' 25''	a = 847,60	
iz trokuta		a = 847,60	



Sl. 10

U svim ovim mjerenjima i iskolčenjima koristio se Zeissov višestativni sistem s prisilnim centriranjem i optički visak.

Međutim još jedna kontrola može dati uvida u točnost iskolčenja točaka na ulaznoj strani tunelske trase, a to je zatvoreni noliigon V-II_t-4-50-IV-V (sl. 11). Suma kuteva u ovom zatvorenom poligonu treba da



sl. 11

bude $\Sigma\beta = 540^\circ$, a odstupanja po koordinatama, u sistemu trase, nula. Eventualna pogreška u iskolčenju točaka I_t i II_t ovdje bi se trebala jače ispoljiti. Kontrolu vlakom ilustrirat će slijedeća tabela:

Točka	prel. kut ° , ' , ''	smjer ° , ' , ''	d m	y m	x m
I _t		0 00 00			
II _t	9 05 27	189 05 31	1603,58	×746,60	-1583,44
4	147 15 55	156 21 29	937,13	375,81	- 858,48
50	250 43 14	227 04 46	486,36	×641,64	- 333,24
IV	30 44 14	77 49 03	241,38	235,94	+ 50,93
V	102 10 54				
I'		0 00 0			
treba	539 59 44			×999,99	-2734,2g
fβ =	540 00 00				2734,20
	+ 16	Δ=10''√5=22''		fy = 0,01	fx = + 0,03

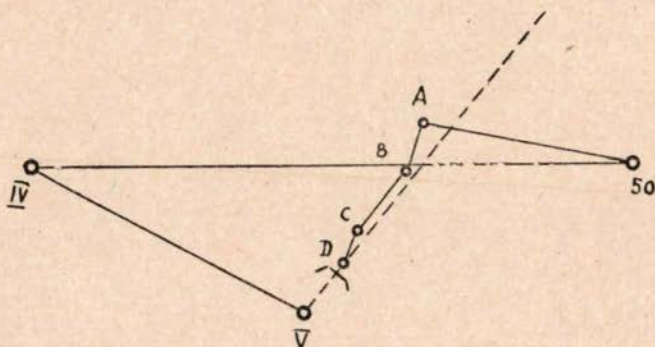
Analiziramo li ove rezultate doći ćemo do ranije istaknutog zaključka, da su točke na ulaznoj strani tunela dobro iskolčene. Kutno odstupanje, koje se pojavljuje u ovom vlakom može biti djelomično uslijed griješke u iskolčenju točaka I i II na trasi, a svakako da tu ulaze i pogreške mjerenja prelomnih kuteva. Odstupanja f_y i f_x dokazuju da su dužine pol. vlaka, računanja elemenata iskolčenja i iskolčenje točaka I_t i II_t, određena sa zadovoljavajućom točnošću.

Međutim sve ovo još nije dokaz, da se u određivanju koordinata točke V nije potkrpala izvjesna gruba greška, koja bi znatno utjecala na stvarnu točnost iskolčenja. Jednostavna kontrola iskolčenjem preko brda

nije se, kako je ranije istaknuto, mogla primijeniti radi konfiguracije terena.

Kontrola iskolčenja smjera preko brda, jednog tunela u pravcu, ne može doduše biti mjerilo točnosti određivanja elemenata određenih analitičkim putem. Međutim ona može biti izvjesna gruba kontrola i stancvita sigurnost, da su mjerenja i iskolčenja dobro izvedena. Utjecaji pogrešaka u prenosu smjera uslijed konfiguracije terena, djelovanje refrakcije i td. mogu kod ovoga rada (iskolčenja preko brda) unijeti pogreške određenih veličina, uslijed čega ovakovo iskolčenje nije uopće potrebno, ako se elementi smjera određuju na osnovu jedne solidne geodetske osnove, gdje postoje brojne kontrole. Međutim u našem slučaju takova kontrola na izlaznoj strani tunela nije postojala.

Izlaz iz ove situacije bio je iskolčenje jedne točke na trasi iznad portala na rubu stijene, koristeći za to Zeissovu prizmu, koja se postavljala na objektiv instrumenta (t. zv. obejktivna prizma). Ova prizma omogućuje da se slika opažanog predmeta, pri vodoravnom položaju durbina, dovede u koincidenciju sa nekim drugim predmetom, koji je u vertikalnom smislu za 90° izvan toga pravca. Prema tome vizirajući u smjeru trase moglo se iznad tunela na rubu stijene postaviti signal, koji bi bio u istom smjeru. Na taj način se na rubu stijena obilježila točka D sl. 12.



Sl. 12

Obilježavanje ove točke na rubu stijene predstavljalo je skoro planinarski podvig. Tek signal visok 2,5 m bio je vidljiv odozdo sa točke V. Nakon što se grubo našlo mjesto koje bi trebalo obilježiti pomalo se pomicao signal dok se nije našlo mjesto, koje najbolje odgovara. Tu se postavio stativ sa tronošcem, a u njega se usadio kruti visak Zeissove prizme koji se učvrstio tačnou vertikalnom položaju. To se mjesto međutim nije moglo koristiti kao stajalište instrumenta, jer se operator nije mogao oko stativa kretati.

Na ovaj način je na izlaznoj strani trase obilježena na terenu još jedna točka, naravno s greškama, koje proizlaze iz ovakovog načina iskolčenja i teškoća organiziranja i postavljanja točke na vertikalne stijene. Međutim moglo se pretpostaviti da je ta točka sigurno iskolčena s tačnošću, s kojom bi se ona iskolčila preko brda prolazeći od ulazne točke. Trebalo je

sada provjeriti kako je ova točka iskolčena i da li se ona stvarno nalazi na trasi. Postavljen je zato poligonski vlak, koji je polazio od točke 50 do točke D, koji se računao u koordinatnom sistemu trase. Ovo računanje je trebalo pokazati:

da li se točka D računata u ovom koordinatnom sistemu nalazi na trasi, te da li su točke na ulaznoj strani uistinu na trasi, kako je to dobiveno analitičkim računanjem u koordinatnom sistemu trase i točkom V kao početkom.

Teoretski bi trebalo da ordinata točke D bude nula. Međutim ovdje će doći do zražaja točnost mjerenja dužina u ovom poligonskom vlaku, kao i točnost iskolčenja same točke D. Dužine su se mjerile paralaktički Zeissovom bazisnom letvom od 3 m. Računanje poligonskog vlaka dalo je slijedeće rezultate za koordinate točaka:

$$\begin{array}{ll} y'_B = -0,93 & x'_B = +129,24 \\ y'_C = -1,09 & x'_C = 65,54 \\ y'_D = -0,06 & y'_D = 44,89 \end{array}$$

Računanje pokazuje, da je točka D izvan pravca t. j. trase tunela za 6 cm. Ovo poprečno odstupanje može nam sada biti izvjesna garancija da je točka V na izlaznoj strani određena sa zadovoljavajućom točnošću i sigurnošću. Uzmemo li u obzir sa koliko je teškoće iskolčena točka D na rubu stijene, na pogreške u mjerenju poligonskog vlaka sa trig. točke 50, onda nam ovo odstupanje daje garanciju da je čitav rad oko iskolčenja tunelske trase s ulazne strane izvedeno s dovoljno sigurnosti i da ne postoji tolika gruba pogreška, koja bi mogla izazvati neugodne posljedice.

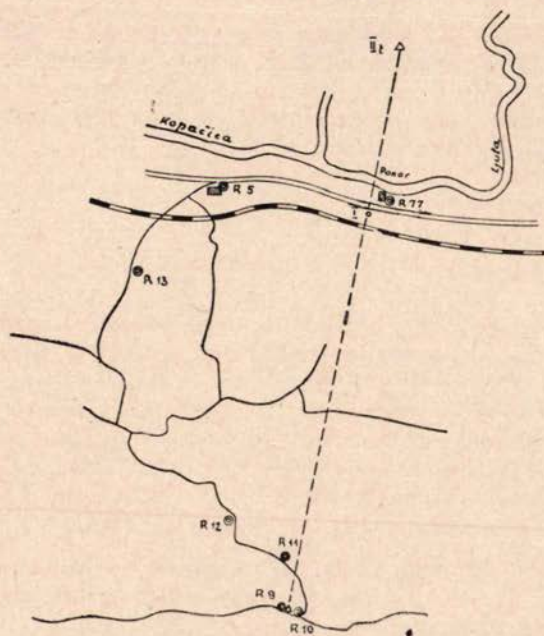
Točke poligonskog vlaka ABD stabilizale su se na trasi linearnim pomakom za veličine y_i , nakon čega je ponovnim mjerenjem u poligonskom vlaku provjerena pravilnost ovih iskolčenja.

Obilježavanje ulazne i izlazne točke tunela. Izlazna točka tunela bila je obilježena već na početku radova i solidno stabilizirana, kao i osiguran njen položaj potrebnim brojem odmjeranja.

Ulaznu točku tunela nije se moglo u ovoj fazi radova obilježiti i stabilizirati iz razloga, što do tada još nije bio gotov projekat ulaznog portala i taložnice pred njime. Iz ranijeg projekta bio je poznat pad tunela, koji je usvojen i u novom, obzirom na već iskopani dio tunela. Iskolčenje ulazne točke nije predstavljao nikakav problem, jer su točke I₁ II₁ bile solidno stabilizirane, pa je trebalo jednostavnim iskolčenjem u pravcu između ovih točaka na određenom mjestu označiti ulaznu točku. Da bi se to iskolčenje građevinskim stručnjacima što više olakšalo, odlučio sam da u blizini vjerojatnog bušenja tunela na ulazu iskolčim nekoliko točaka.

Za to su bili potrebni i nivelmanski podaci. Nivelmanski vlak se postavio od ulazne do izlazne strane između starog repera kod vodomjera blizu ponora označen sa R₇₇ i repera, koji su postavljeni blizu portala na izlaznoj strani tunela. Niveliralo se prema načelima za precizni nivelman t. j. upotrebio se nivelir s planparalelnom pločom i mikrometrom, invarne po-

lucentimetarske letve, a niveliralo se u oba pravca. Naročito teška dionica za niveliranje bila je kod spuštanja i uspona niz strmu stranu stijene. Ovaj se dio između R 11 i R 10 nivelirao četiri puta, dva puta kod osnovnog mjerenja, a dva puta prilikom kontrolnih mjerenja godinu dana kasnije. Kod ovih mjerenja upotrebio se Zeissov Ni 2 Opton nivelir sa automatskim horizontiranjem. Nivelmanski vlak prikazuje slika 13.



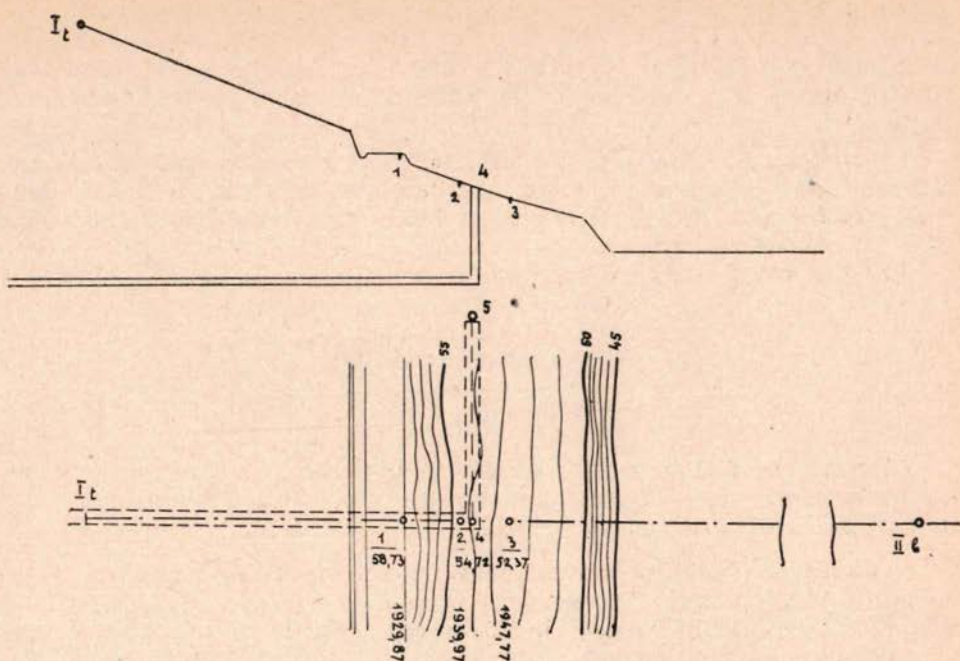
Sl. 13

Sad je iz nivelmana bila data kota izlazne točke tunela V, ona je 11,994 m. Projektant je zadao kotu, na kojoj će se nalaziti niveleta tunela na ulaznoj strani tunela nakon izgrađene taložnice. Ta je kota bila 39,653 m. Izvadač nije smio bušenje započeti neposredno sa polja, jer dolaskom vode zatrpao bi mu se izbušeni dio tunela i ne bi za duže vrijeme mogao s te strane bušiti. Trebalo je dakle »napadnu točku« postaviti tako da radovi budu nesmetani nadolaskom vode. To se moglo postići bušenjem bilo kosog rova do trase, ili vertikalnog okna da se dođe do kote 39,653 m. (Sl. 14).

Međutim poznavajući ove elemente t. j. kotu izlazne točke, nagib trase od 14,2‰ moglo se izračunati na kojoj će se udaljenosti od izlazne točke nalaziti na trasi kota 39,653 m. Predstavimo to u jednom koordinatnom sistemu XZ kroz točku V. (Sl. 15.)

Jednadžba nivelete tunelske trase u ovom koordinatnom sistemu i prema datim veličinama bit će:

$$z = 0,0142x$$



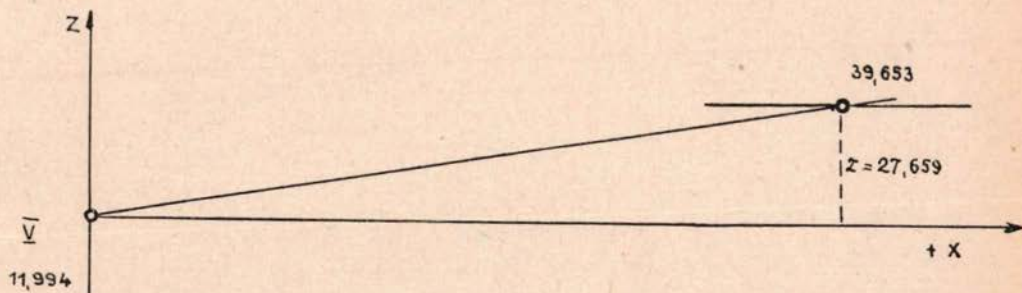
Sl. 14

Potrebno je sada naći točku presjeka ovog pravca sa horizontom čija je kota 39,653. Razlika između ove kote i kote točke V je ordinata ove točke t. j. $z = 39,653 - 11,994 = 27,659$. Prema tome:

$$27,659 = 0,0142x$$

$$x = 1947,82 \text{ m}$$

Na taj način je trebalo na udaljenosti od 1947,82 m obilježiti jednu točku na osovini trase. Međutim obilježile su se ne jedna nego tri točke, da bi za svaku eventualnost mogle poslužiti kod građevinskih radova. Točka 1 se obilježila na ivici puta (sl. 14), a točka 2 ispod puta. Treba na-



Sl. 16

glasiti da je ovo prilično strm i težak teren za linearna mjerenja. Odmjerujući po osovini trase od točke 2 za ovu horizontalnu udaljenost došlo se do mjesta, gdje bi njena stabilizacija bila veoma nezgodna, jer je pala na strmoj stijeni. Zato se stabilizirala točka 3 na 5 cm kraćoj apscisi t. j. za $x=1947,77$ m.

Budući da projekat nije bio još tada gotov, to su točke 1, 2 i 3 iznivekirane i one su bile date svojim koordinatama na trasi, pa su predstavljale stabiliziranu osovину trase na površini na mjestu vjerojatnog položaja »napadne« točke tunela.

Dužina nivelete t. j. tunela bila bi prema ovim podacima od točke V do točke 3 na trasi t. j. s kotom 39,653

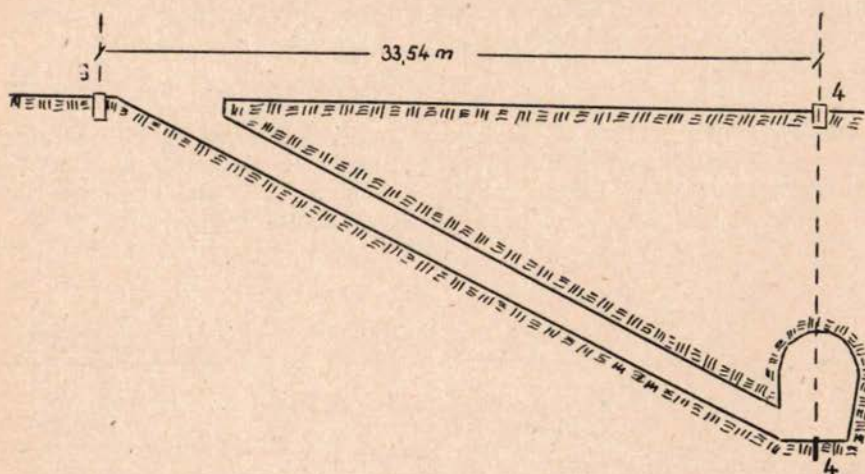
$$D = \sqrt{1947,80^2 + 27,66^2}$$

$$D = 1954,60 \text{ m}$$

Definitivnu dužinu tunela trebalo je dati nakon završenog projekta, na osnovu kojeg će se izvesti građevinski radovi, te na osnovu odabranog mjesta za bušenje na ulaznoj strani.

Iskolčenje tunela i kontrolni radovi. — Radovi na kopanju tunela započeti su 1955. godine. Preuzelo je poduzeće Tunelogradnja iz Beograda. Radovi su se nastavili s većom intenzivnošću prvenstveno sa izlazne strane.

Sa ulazne strane bušenje je započeto niskopom okomito na trasu. Izvadač nije uzeo točku 3 kao ulaznu, nego je kosi rov (niskop) pomaknuo prema izlazu za cca 6 m od točke 3. Tako je okomito na trasu izbušen niskop do trase, koji u poprečnom presjeku izgleda, kao je prikazan na slici 16.



Sl. 16

Trebalo je sada odrediti kotu nivelete u niskopu i dati pravac bušenja tunela. U ovoj fazi radova pozvao me izvadač da izvršim kontrolu dosa-

dašnjih radova i dadem elemente daljnjeg iskolčenja. Prema slici 14 i 16 iskolčila se točka 5 na okomici u 4 na udaljenosti od 33,54 m. Koordinate točke 4 u sistemu trase jesu $y_4' = 0,00$, $x_4' = 1941,89$ m. Točka 5 je iskolčena instrumentom, a obilježena ubetoniranim drvenim kolcem sa čavlom. Njen položaj je kontroliran neovisnim mjerenjem od točaka 3, 2 i 1 i sračunat u koordinatnom sistemu trase, t. j. izračunate su koordinate y_5' i x_5' iz čega je bilo vidljivo da je točka 5 dobro iskolčena. Njena visina određena je niveliranjem $H_5 = 54,645$ m.

Točka 4 prenesena je u niskop jednostavnim projiciranjem iz oba položaja durbina i obilježena njena projekcija na trasu 4'. Kota točke 4', trebala se odrediti iz točke 5. U ovakovom kosom rovu malih dimenzija bilo je nemoguće nivelirati, i na taj način precizno odrediti kotu točke 4'. Visinska razlika se odredila na dva načina: profiliranjem pomoću ravnjače i podravnjače, te trigonometrijski. Oba su se rezultata složila sa zadovoljavajućom točnošću, te je kota točke 4' iznosila $H_4' = 39,445$ m.

Uzmemo li raniju jednadžbu nivelete u XZ sistemu

$$z = 0,0142x$$

gdje je u ovom slučaju za x potrebno postaviti $x_4' = 1941,89$ m to bi z trebao biti:

$$z = 27,575 \text{ m}$$

odnosno kota

$$H_4' = 27,575 \text{ m} + 11,994 \text{ m} = 39,569 \text{ m}$$

Razlika između ove i one koja bi trebala biti t. j. $39,445 - 39,569 = 0,124$ ukazuje, da je na ovom početku iskopano premalo za 0,124 m.

Smjer je u niskopu privremeno označen, budući da nije u pravcu tunela bilo prokopano više od 2 m, s napomenom da bi trebalo čim radovi uznapreduju za nekih 20—30 m ponovno provjeriti trasu i dati elemente iskolčenja ponovno.

*

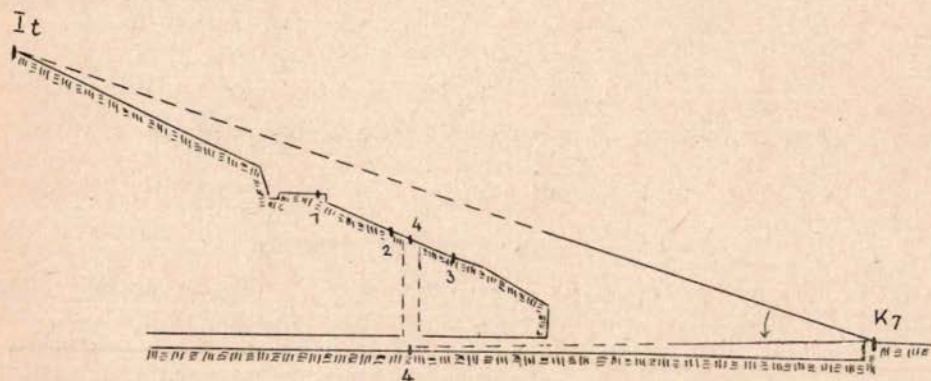
Od ovog vremena prošlo je opet više od godina dana, kad sam bio ponovno pozvan hitno na izričiti zahtjev nadzornog organa, da izvršim kontrolu trase, jer se sa ulazne strane prokopalo bilo cca 180 m a sa izlazne 914 m.

Sada je već bio na ulaznoj strani prokopan portal i izgrađena taložnica. Time su svakako bili stvoreni mnogo povoljniji uslovi za kontrolu smjera budući da se on mogao prenijeti u tunel jednostavnim projiciranjem sa točke na rubu taložnice (sl. 17.)

Nova točka na rubu taložnice dobila je oznaku K_7 a stabilizirana je ubetoniranim kolcem sa čavlom. Njen položaj na trasi određen je odmjeranjem od točke II_t . Ovaj dio terena je potpuno ravan, pa se dužina mogla mjeriti preko iskolčenih kolaca na svakih 50 m. Dužina se mjerila ručnom čeličnom vrpcom 50 m, a zatezalo se dinamometrima silom od 10 kg. Ova vrpca vlasništvo Geodetske Uprave NRH je američke produkcije nema nikakvog certifikata, pa ni podatke o temperaturi. Ranije je ovom vrpcom bila mjerena baza za triangulaciju, gdje se također nije vodilo računa o promjeni temperature, ali su se mjerenja vršila pod približno jednakim temperaturnim okolnostima. Na taj način su linearni odnosi ostali isti, i

u koliko je postojala izvjesna sistematska pogreška, koju je prouzrokovala promjena temperature, ona nije utjecala na linearna mjerenja kod iskolčenja trase.*

Dužina između It i K_7 iznosila je 719,467 m, pa su prema tome koordinate točke K_7 u sistemu trase bile: $y' = 0,00$, $x' = 2004,73$ m, Razlika između ove apscise i za točku 4' bila je $2004,73 - 1941,89 = 62,84$, a to je predstavljalo horizontalnu udaljenost između ovih dviju točaka. Mjerenjem dobilo se 62,88 m, dakle 4 cm razlike. Ustanovljeno je da je točka 4' uslijed nastalih radova bila prestabilizirana, stara je bila transportom materijala uništena. Međutim i ovolika razlika je izvjesna garancija za točnost mjerenja. Dužina ovdje nije ni bila važna, važniji je bio smjer s kojim se tunel bušio sa ove ulazne strane.



Sl. 17

Kontrola smjera na ulaznoj i izlaznoj strani mogla se izvršiti jednostavnim projiciranjem i produženjem pravca. Međutim s ulazne strane sa točke K_7 nije se moglo duboko dogledati unutar tunela, budući da je visinska razlika između točke K_7 i unutrašnjih točaka bila tolika, da je ulazni portal branio daljnje dogledanje. Sa izlazne strane nije bilo takove zapreke, ali intenzivno sunčano svjetlo i refleks s mora nije dozvoljavao danju jasno dogledanje dalje od 400 m unutar tunela. Na većoj udaljenosti osim toga bilo se teško sporazumijevati, jer nismo imali telefona.

Za viziranje unutar tunela imali smo na raspolaganju Zeissov reflektor TGS III, ali nažalost bez originalne žaruljice, pa su žaruljice džepne baterijske lampe, kojom se zamijenjivala, brzo pregorjevale. Zato se i ovdje kontrola trase izvršila pomoćnim poligonskim vlakom.

Najprije nekoliko riječi o stabilizaciji točaka unutar ovoga tunela. Radno iskolčenje tunela za potrebe gradnje izvodio je građevinski tehničar poduzeća. On je stabilizirao točke na trasi ubetoniranim debelim drvenim kolcem $10 \times 10 \times 30$ cm u kojemu se mogao točno u smjeru trase zabiti čavao.

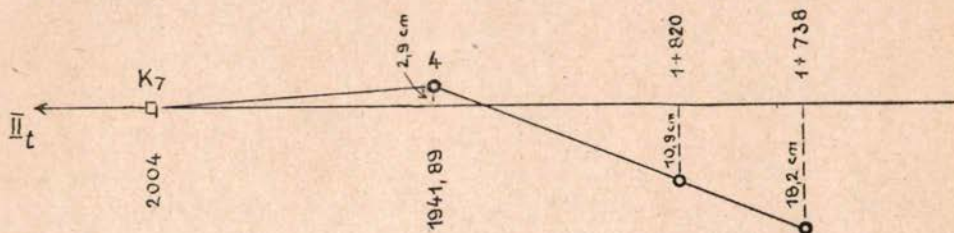
* Kasnije je ova vrpca komparirana na komparatoru i njena dužina iznosi 53,000163 m.

U ovom kraškom terenu tunel nije trebao imati posebni uređaj za odvodnju, voda je jednostavno propadala kroz propusno zemljište. Zato je bilo moguće točke osovine tunela stabilizirati u podu neposredno na trasi. Sredinom tunela postavljen je bio kolosjek za odvoz materijala, a sa jedne strane cijevi za ventilaciju.

Prema tome bilo je najjednostavnije, da se točke stacionaže na trasi koriste kao poligonske i da se pomoću njih kontrolira trasa.

Upotrebljen je opet Zeissov poligonalni pribor sa svjetlosnim značkama za mjerenje kuteva. Dužine su se mjerile neposredno čeličnom vrpcom, s kojom je mjerena baza triangulacije. Kutevi su mjereni Zeissovim Th II teodolitom u 4 girusa.

Rezultati mjerenja i računanja za ulaznu stranu tunela u koordinatnom sistemu trase prikazani su na crtežu (sl. 18.)



Sl. 18

Iz crteža se vidi da je iskolčenje na ulaznoj strani tunela prilično loše, i da se tako nastavilo imalo bi težih posljedica. Kako je točka 4' bila pre-stabilizirana, a budući da se loše iskolčio pravi kut u točki 4', to je pogreška u iskolčenju na prvih 120 m iznosila 11 cm, a na 203 m već 18 cm. Srećom tunel se nije podzidavao, a upravo je u ovom dijelu sa ulazne strane bila njegova izgradnja veoma otežana, jer se naišlo na rastresiti teren, koji se rušio, pa je ova kontrola omogućila, da se podzidavanje pravilno usmjeri.

Trasa je ispravljena, a nakon privremenog obilježavanja ponovnim mjerenjem je provjerena pravilnost iskolčenja.

Na izlaznoj strani bilo je jednostavnije. Najprije se kontrolirao pravac na stacionaži 0+480 m neposrednim mjerenjem kuta orijentacije sa točke V. Instrument i signalna značka na točkama V i IV centralni su se optičkim viskom. Kut je mjereno u 4 girusa.

Rezultat mjerenja bio je:

$$\begin{array}{r} 102^{\circ} 11' 27'' \pm 1'' \\ \text{treba } 102^{\circ} 10' 54'' \\ \hline \Delta = - 33'' \end{array}$$

Poprečno linearno odstupanje iznosi u ovoj točki prema formuli

$$\Delta q_{480} = \frac{\Delta \alpha''}{\rho''} \cdot D = \frac{33''}{206265''} \cdot 480000 \text{ mm}$$

$$\Delta q_{480} = - 7,7 \text{ cm}$$

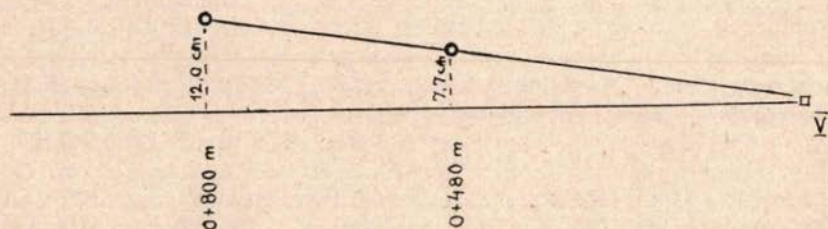
Bilo je potrebno kontrolirati i točku na stacionaži 800 m. Mjerenjem poligonskim vlakom vidjelo se da je ona iskolčena dosta dobro pod kutem od 180° . To znači da je pogrešno iskolčena u istom omjeru kao i točka na 480 m. Da se to bolje utvrdi odlučeno je da se kontrola obavi noću s time da se točka na 800 m kontrolira neposredno. Noću nema onih refrakcionih smetnji, pa se pomoću svjetlosnih signalnih značaka mogao ovaj orijentacioni kut veoma dobro mjeriti. Mjerenje je dalo ove rezultate:

$$\begin{array}{r} 102^\circ 11' 25'' \pm 2'' \\ \text{treba } 102^\circ 10' 54'' \\ \hline \Delta = - 31'' \end{array}$$

Kako se vidi rezultat se slaže s onim ranijim mjerenjem u točki 480.

$$\Delta q_{800} = -12,0 \text{ cm}$$

Usporedimo li ovo odstupanje s onim na ulaznoj strani vidimo da su oba odstupanja u suprotnom pravcu. Ako bi pretpostavili da će se proboj tunela postići negdje na 1500 m od izlazne strane, to bi na tom mjestu odstupanje od trase sa izlazne strane bilo $y' = +22$ cm, dok odstupanje sa ulazne strane $y' = -30$ cm. Prema tome razmimoilaženje osovine tunela bilo bi ukupno oko pola metra.



Sl. 19

Ja ne mogu prosuditi od kolike bi to bilo štete, odnosno kako bi se to odrazilo na financijsku stranu ovih radova.

Uzmemo li kao toleranciju zahtjev projektanta da se proboj ostvari u granicama od 10 cm, onda bi ovakav slučaj bio krajnje nepovoljan.

Kod razmatranja točnosti proboja tunela redovito se uzimaju u obzir teoretski elementi, a ne oni, koji se u praksi kod izvođenja ovakvih radova mogu sresti, a ti su ne prikladni instrumenti i pribor za ove radove i ne kvalificirano osoblje, koje ga izvodi. Prema tome u takovim slučajevima točnost proboja i ne može biti mjerilo točnosti datih elemenata iskolčenja i kvalitete geodetskih radova.

Ne će biti na odmet da se i za ovaj slučaj daje analiza točnosti proboja, koja bi se teoretski mogla očekivati na osnovu točnosti geodetskih radova.

Kao mjerilo točnosti treba za ovakav slučaj tunela u pravcu da posluži srednja poprečna pogreška. Za ispruženi istostranični vlak ona je data formulom:

$$m_a^2 = \frac{L^2}{\rho^2} (k m_\beta^2 + m_\varphi^2)^*$$

Gornja formula ima dva člana. Prvi predstavlja djelovanje pogrešaka mjerenja u poligonskom vlaku, a drugi pogrešku orijentacije. Kako se ovdje radi o ispruženom vlaku dolazi u obzir samo točnost mjerenja kuteva.

U gornjoj formuli pojedini elementi znače:

m_a srednja poprečna pogreška na dužini L

L dužina vlaka t. j. na kojoj će se izvršiti proboj

$k = \frac{2n^2 + 1}{3n}$ koeficijent ovisan o broju polig. strana n

m_β srednja pogreška mjerenja prelomnog kuta

m_φ srednja pogreška orijentacije.

Za naš slučaj možemo uzeti slijedeće veličine:

$$L_1 = 1500 \text{ m} \quad L_2 = 450 \text{ m}$$

Za $n=2$, što se za oba slučaja može pretpostaviti bit će $k=1,5$ srednja pogreška mjerenja prelomnih kuteva u 4 girusa $m = \pm 2''$

Za srednju pogrešku orijentacije mogla bi se uzeti srednja pogreška pravca iz izjednačenja mreže, premda za ovaj slučaj to ne bi bilo sasvim opravdano. Za taj slučaj je $m_\varphi = \pm 5,7''$.

Zamjenom ovih veličina u raniju formulu imamo:

a) srednja pogreška proboja sa ulazne strane:

$$m^2_{a2} = \frac{450^2}{\rho^2} (1,5 \cdot 4 + 32); \quad m_a = \pm 1,3 \text{ cm}$$

b) srednja pogreška proboja sa izlazne strane:

$$m^2_{a1} = \frac{1500^2}{\rho^2} \cdot 38; \quad m_a = \pm 4,5 \text{ cm}$$

Ukupna srednja pogreška bila bi suma kvadrata obje ove pogreške, odnosno $\pm 4,6$ cm. Prema teoriji pogrešaka dozvoljeno odstupanje bila bi trostruka srednja pogreška odnosno $\Delta q = 13,8$ cm.

Ako je projektant kao toleranciju dao 10 cm to znači da srednja pogreška iskolčenja ne bi smjela biti veća od 3,3 cm.

* Janković: Primijenjena geodezija I dio lit. izdanje Zagreb 1957. str. 117.

Uzmemo li ovu veličinu i uvrstimo je u raniju formulu za srednju po-
prečnu pogrešku, možemo izračunati koliki nam smije biti k odnosno ko-
liko možemo imati strana u poligonskom vlak. Za $m_q = \pm 3,3$ cm bit će
 $k = 1,2$. To znači da iskolčenje u ovom slučaju moramo obaviti neposredno,
jer možemo imati samo jednu poligonsku stranu.

Međutim naglašeno je već ranije da za ovaj slučaj ne bi bilo pravilno
uzeti $m_q = \pm 5''7$. Elementi iskolčenja u točki V t. j. smjer u točki V mogu
se smatrati kao data veličina. Smjer trase na terenu je zadan, a orijenta-
ciona točka IV. je uzeta da bi se u svako doba mogao ovaj smjer kontro-
lirati. Prema tome će točnost iskolčenja smjera na izlaznoj strani biti
ovisna prethodno od točnosti samog mjerenja orijentacionog kuta. Even-
tualne pogreške u koordinatama točke V odrazile bi se samo na paralelni
pomak iskolčenja sa ulazne strane. Međutim veličinu tih pogrešaka nismo
u stanju ocijeniti. Točnost određivanja orijentacionog kuta u točki V ovisi
svakako o točnostima mjerenja kuta u pojedinim fazama kontrole, kod
kujih je dolazilo u obzir: točnost centriranja signala na točki IV, točnost
centriranja instrumenta u točki V, točnost viziranja na signal u točki IV
i signal u tunelu, točnost mjerenja samog kuta.

U našem slučaju se centriranje instrumenta i signala uvijek obavljalo
optičkim viskom, tako da je ova pogreška bila svedena na praktički malu
vrijednost, koja se mogla zanemariti.

Točnost viziranja je ovisila o načinu signalizacije orijentacione točke
i onih u tunelu. Kod toga su se uvijek koristile signalne značke postavljene
na stativima, bilo obične bilo svjetlosne, gdje se obzirom na relativno
kratke udaljenosti (200—800 m) mogla postići maksimalna točnost vizi-
ranja.

Budući da su na taj način najopasnije pogreške sistematskog karak-
tera bile praktički uklonjene iz rezultata mjerenja to nije preostajalo nego
samo djelovanje točnosti mjerenja samog kuta u točki V, a ta je bila kako
je vidljivo iz ranijih primjera, dosta visoka 1" do 2".

Ovakova točnost mjerenja će svakako garantirati traženu točnost
iskolčenja od ± 10 cm. Međutim uzmemo li i ranije izračunatu točnost od
 $m_q = \pm 4,6$ cm to je velika vjerojatnost da bi se tražena točnost proboja
ostvarila.

RÉSUMÉ. — Dans cet article on décrit le procédé de détermination des éléments
pour le tracé du tunnel de drainage »Champs de Konavle« à côté de Dubrovnik. L'issue
de tunnel se trouve au-dessus de la mer sous un rocher presque verticale, haut de 100 m
(fig. 2). Il y a plus que vingt ans que le perçage du tunnel étaient effectués du côté de
la mer dans la longueur de 360 m. Dans le nouveau projet il a fallu déterminer les
éléments de forage de tout les deux côté.

La difficulté de détermination des éléments nécessaires était représentée par le
haut rocher vertical dresse au-dessus de la mer ainsi que par le bois de pins qu'à cause
de la régularité de développement de réseau trigonometrique l'auteur ne voulait pas faire
abbatere. A cause de cela les éléments du tracé ont été déterminés au moyen de mesure
stricts nécessaires (fig. 1, 5b). On s'est servi d'accessoires polygonaux Zeiss avec la
stadia horizontal de 3 m d'invar. Dans l'article on traite aussi les controles de détermination
et de calcul des éléments de tracé ainsi que la précision de piquetage de tracé.