

Obeležavanje i merenje cevovoda HE »Perućica«

Jedna od najvećih hidrocentrala u našoj zemlji po veličini korisnog pada vode je HE »Perućica« (505 m).

Sa izgradnjom ovoga objekta skopčana je izgradnja brojnih tunela različitih dimenzija kako po veličini prečnika tako i po njihovoj dužini od ulaznog do izlaznog portala, zatim dovodnih i odvodnih kanala, cevovoda, te raznih objekata koje ulaze u njihov sastav.

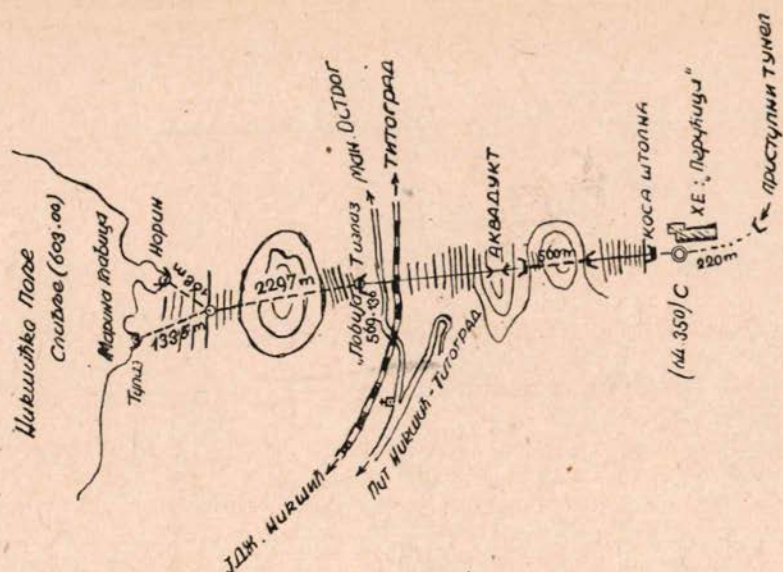
Obeležavanje i fiksiranje pravca kod tunela, kanala, cevovoda te davanje lokacija za mašinsku zgradu i dr. objekte, uslovilo je široku primenu Geodezije počev od detaljnog snimanja pa do preciznog nivelmana i triangulacije.

Ovdje će biti reći samo o trasi cevovoda, njenom obeležavanju i fiksiranju na terenu, te snimanju-merenju uzdužnog i poprečnih profila, zatim obeležavanje ulaznog i izlaznog portala na tunelu cevovoda, kosoj štolni, pristupnom tunelu i praćenju zemljanih radova na njima.

Dužina cevovoda HE »Perućica« od izlaza dovodnog tunela »Marina Glavica«-Povija do mašinske zgrade iznosi 1697,768 m a visinska razlika između početne i krajnje tačke je 504,786 m. Teren kojim trasa cevovoda prolazi je krečnjačke prirode, jako strm, presečen jednom dubokom jarugom i nizom stenovitih oteka-greda krečnjaka. Seče ga kolski put »Krst«-Manastir Ostrog i železnička pruga Nikšić-Titograd. Na njemu postoji jedan advakut, jedan tunel dužine 530 m. čija se niveleta lomi na njegovoj sredini s tim što je od ulaza i izlaza u usponu 1‰, zatim jedna kosa štolna 35 m. i pristupni tunel od 176 m. dužine. (Šematička skica — Sl. 1).

Za izvršenje ovoga zadatka trebalo je izvršiti sledeće terenske Geodetske operacije:

1. — Obeležavanje i fiksiranje na terenu pravca ose cevovoda.
2. — Razvijanje nivelmanske mreže u prostoru cevovoda.
3. — Nivelanje postavljenih repera.
4. — Obeležavanje glavnih tačaka na pravcu uzdužnog profila cevovoda.
5. — Merenje ostojanja između glavnih profila i odmeravanje pomoćnih između njih.
6. — Nivelanje glavnih profila.
7. — Snimanje poprečnih profila.
8. — Obeležavanje mesta-kolena gde se cevovod po projektu lomi u vertikalnom smislu i njihovo osiguranje na terenu.
9. — Obeležavanje na terenu mesta izlaznog i ulaznog portala na tunelima i kosoj štolni i praćanje zemljanih radova na njima.



Сл. 1

I.

Na situacionom planu razmere 1:1000 koji obuhvata široki prostor od izlaza dovodnog tunela u Poviji do mašinske zgrade HE »Peručica«, projektant je povukao pravac ose cevovoda čija je početna tačka T izlaz »Povija« a završna »C«, mesto kod mašinske zgrade gde niveleta cevovoda prelazi u horizontalu i uslovljava položaj osovine mašinske zgrade koja je paralelna sa osom cevovoda.

Tačka »C« je obeležena i fiksirana na terenu na osnovu Geodetskih elemenata koje su projektanti dali.

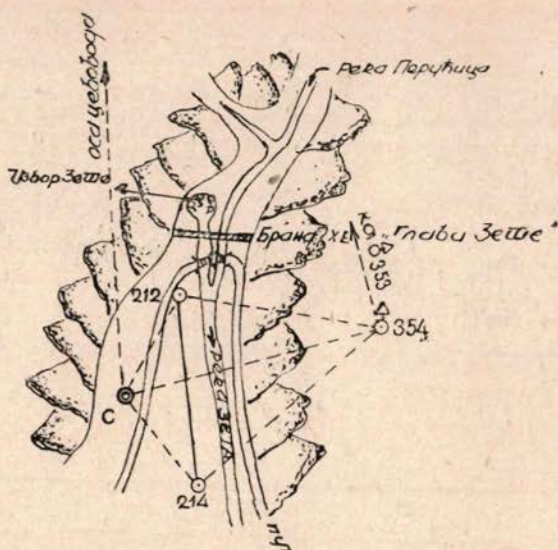
Da bi se moglo pristupiti prenošenju ose cevovoda sa situacionog plana na teren tj. fiksirati njen pravac, određene su koordinate tačke »C« iz četvorougla koji čine $\Delta 35^{\circ}$, $\odot 212$ i $\odot 214$ sa njom, jer se T izlaz »Povija« ne dogleda sa nje. Njihov međusobni odnos u horizontalnom smislu pokazuje sl. 2.

Ovakav izbor poznatih tačaka uslovio je izvanredno težak i nepregledan teren.

U ovom četvoruglu izmereni su svi uglovi u dva girusa (viziranje vršeno na visak) sa teodolitom Wild II. kod koga je vrednost najmanje podele na nonius mikroskopu 1" a čitaju se i delovi sekunde. Uglovno otstupanje ($f\beta$) u ovom zatvorenom poligonu iznosilo je 12".

Osnovica je izmerena između $\odot 212$ i $\odot 214$, čija je rukovana dužina 290,550 m. Koordinate za $\odot 212$ i $\odot 214$, bile su sračunate ranije prilikom detaljnog snimanja u poligonu vlak u II reda stim što je između njih postajala i $\odot 213$ koja je uništena. Pomoću ove osnovice sračunate su sve ostale dužine.

Računanje koordinata izvršeno je po obrascu br. 19 tako da su ponovo sračunate koordinate za $\odot 212$ i $\odot 214$. fd je iznosilo 0,06 m.



Ср. 2

Упоређење њихових координата страћунатих приликом детаљног снимања планом раћунања полигоне мреже и нових координата сраћунатих на овај наћин изгледа овако:

⊙ 212		⊙ 214	
y = 581 991,66	x = 725 907,68	y = 582 043,05	x = 725 621,68
581 991,23	725 907,52	582 042,69	725 621,46
$\delta_y = +0,43$	$\delta_x = +0,16$	$\delta_y = +0,36$	$\delta_x = +0,22$

Предзнак за δ је одређен у односу на новосраћунате координате које су разумљиво веће таћности собзиром на употребу прецизнијег инструмента, прецизније мерење оснoвце и други план раћунања.

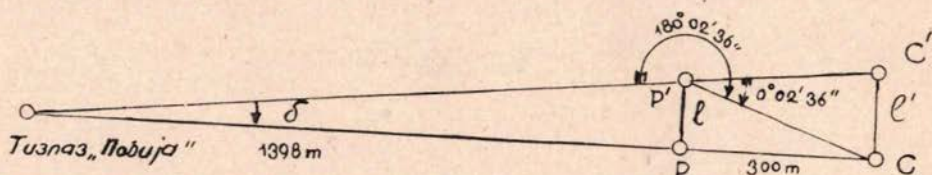
Пошто су добијене координате за таћку »C« нађен је оријентациони угao за правac осе цевовода полazeћи од T излаз »Повија«, који је:

$$0 = \nu_{T \text{ излаз}}^{354} - \nu_{T \text{ излаз}}^C$$

Он је у овом случају износио $10^0 10' 31''$. Значи ако се нула на лимбусу оријентише на $\Delta 354$, угao од $10^0 10' 31''$ на лимбусу показаће правac осе цевовода »Перућика«.

Најпре је са овим оријентационим углом истеран правac идући од T излаза до места на правцу цевовода одакле се види таћка »C« па је то место привремено obeleжено и пренет на њега инструмента. Оријентишући са ове таћке нулу лимбуса на T излаз »Повија« и окрећући дурбин око осе алхидине навизирано је на таћку »C«. Природно би било да се тада на лимбусу чита угao $180^0 00' 00''$, јер је то права линија. Међутим, са обзиром на разне утицаје (степен таћности нагиба а према томе и оријентационог угла, визирања, рефракцију, утицај колимације итд.)

viziranjem na »C« čitan je ugao $180^{\circ} 02' 36''$ tj. odstupanje od pravca je bilo $2' 36''$, čija linearna vrednost na dužini od 300 m, koliko je bilo odstojanje do »C« iznosi 0,28 m. Sada se pristupilo aliniranju pravca instrumentom s tim što je nađeno koliko se i u koju stranu treba sa instrumentom pomeriti upravno na osovinu cevovoda pa da se optička osa instrumenta poklopi sa pravcem T izlaz-»C«, vizirajući na ma koju od dve tačke. (sl. 3).



Sl. 3.

Iz trougla $C'P'C$ prvo je sračunato l' . Pošto je ugao mali to je l' sračunato po formuli: $l' = d \cdot \frac{\alpha''}{\rho''}$ tj.

$$l' = \frac{300 \times 196}{206\ 265} = \frac{58800}{206\ 265} = 0.28 \text{ m.}$$

Veličina l dobijena je iz proporcije $l : l' = 1397 : 1698$ tj.

$$l = \frac{0,28 \cdot 1397}{1698} = 0.23 \text{ m.}$$

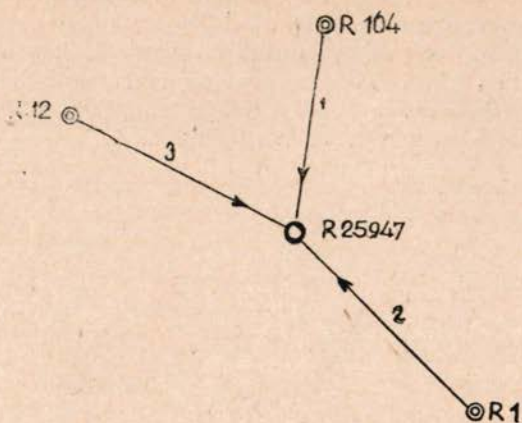
Znači od tačke P' instrument je pomeren za 22 cm. po liniji koja stoji upravno na pravac T izlaz-»C« na tačku P . Sada je prelomni ugao dobijen aritmetičkom sredinom iz dva girusa odstupao od 180° za $4''$ što praktično nema uticaja na pravac cevovoda. Posle toga je fiksirana i signalisana na terenu tačka P koja služi za orijentaciju na delu osovine cevovoda od »C« do nje i od nje do T izlaza.

II.

Kada je definitivno fiksiran pravac osovine cevovoda izvršeno je postavljanje mreže repera njegovom dužinom od nekoliko poznatih repera.

Razvijena su tri nivelmanska vlaka od poznatih repera u čijemu preseku je uziman na fiksiranu tačku P koja je predhodno obeležena na osi cevovoda i Reperi su postavljeni dovoljno daleko od ose cevovoda tako da prilikom izvođenja zemljanih radova ne budu povređeni.

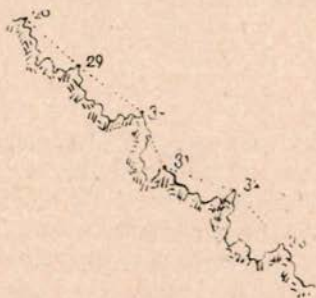
Visinska razlika između repera na pravcu cevovoda je bila prosečno 20 m. Nivelman je vršen u oba pravca. Prvo je sračunata kota čvornog repera, čija je srednja greška $M = \pm 0,026$ m što prema kategoriji terena i vrsti nivelmana zadovoljava; zatim su sračunate kote repera u vlakovima duž cevovoda. Ostupanja (f) u njima kretala su se u granicama dozvoljenog odstupanja. Srednja greška $M = \pm 0,008$ m.



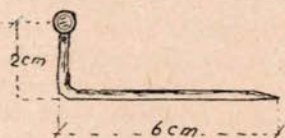
Sl. 4.

Da bi se moglo izvršiti snimanje uzdužnog profila sa odgovarajućom tačnošću na ovom vrlo teškom, kamenitom i ispresecanom terenu, moralo se izvršiti postavljanje i fiksiranje profila na pravcu ose cevovoda tako da se dužina od profila do profila može meriti bez prepreka jednim zatezanjem pantljike i na milimetar. (sl. 5).

Rad je počeo od T izlaza »Povija«. Prilikom obilježavanja profila pravac je uziman na fiksiranu tačku P koja je predhodno obeležena na osi cevovoda i sa koje se dogleda početak T izlaz i njegov kraj »C«. S obzirom na konfiguraciju terena neprekidne krečnjačke stene u rastresitom stanju — nisu se mogli postavljati profili na svim mjestima gde se teren faktički lomni nego, uglavnom, na izrazitim mestima zgodnim za merenje s tim da ostojanje između njih ne bude veće od 20 m, tamo gde će pantljika prilikom zatezanja pri merenju ići iznad terena. Na njegovoj celoj dužini postavljeno je 105 glavnih profila tj. prosečno na svakih 16 m jedan.



Sl. 5.

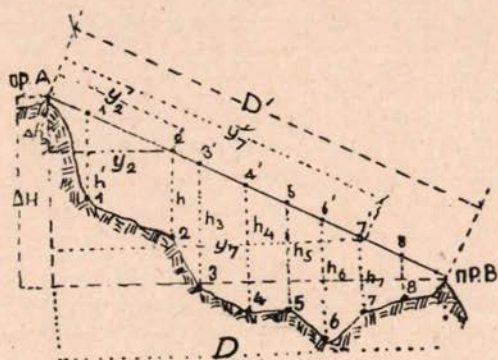


Sl. 6.

Obeležavanje profila vršeno je ekserima dužine 8 cm. zabetonirani u prirodnoj steni tako da je ekser savijen a njegov vrh okrenut gore (sl. 6).

Merenje dužina od profila do profila vršeno je pantljikom od 50 m. koso, od vrha do vrha eksera, u dva pravca očitavajući delove poslednjeg desimetra

razmernikom na mm. Međutim, sitni prelomi između dva susedna profila snimani su apcisko a visine od pantljičke do terena očitavane su na nivelmanskoj letvi vertikalno postavljenoj na svakom prelomu kako pokazuje sl. 7.



Sl. 7

Kote tačkaka 1, 2, 3, 4, itd. sračunate su na sledeći način:

Prvo su sračunate kote fiktivnih tačkaka 1', 2', 3', 4' itd. pomoću visinskih razlika $\Delta h_1, \Delta h_2, \Delta h_3 \dots \Delta h_n$

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta H}{D'} \cdot y'_1 \quad V'_1 = VA - \Delta h_1$$

$$\Delta h_2 = \frac{\Delta H}{D'} \cdot y'_2 \quad V'_2 = VA - \Delta h_2$$

$$\Delta h_3 = \frac{\Delta H}{D'} \cdot y'_3 \quad V'_3 = VA - \Delta h_3$$

.....

$$\Delta h_n = \frac{\Delta H}{D'} \cdot y'_n \quad V'_n = VA - \Delta h_n$$

$$V_1 = V'_1 - h_1$$

$$V_2 = V'_2 - h_2$$

$$V_3 = V'_3 - h_3$$

$$V_n = V'_n - h_n$$

.....

gde je ΔH visinska razlika između AB; D' kosa dužina između profila AB; y' kosa apcisa od profila A do svake pojedine tačke između njih; Δh visinska razlika između profila A i svake pojedine fiktivne tačke na kosoj dužini između AB; V' kota fiktivne tačke; h dužina vertikale od fiktivne tačke do terena; V kote detaljnih tačkaka 1, 2, 3, 4 itd. na terenu.

Horizontalne apcise za detaljne tačke dobijene su po formulama:

$$y_1 = \frac{D}{D'} \cdot y'_1$$

$$y_2 = \frac{D}{D'} \cdot y'_2$$

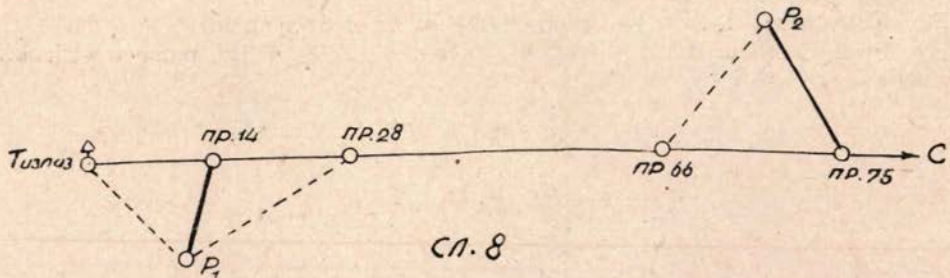
$$y_3 = \frac{D}{D'} \cdot y'_3$$

.....

gde je D horizontalna užina od profila A do profila B ; D' kosa dužina između profila AB ; y' , kosa apcisa za svaku pojedinu tačku a y , horizontalna apcisa (računata od profila A u pravcu profila B).

$$y_n = \frac{D}{D'} \cdot y'_n$$

Za kontrolu dužine najnepristupačnijih i najtežih delova trase od T izlaza do profila 28 i od profila 66-profila 75 merena je osnovica između profila 14 i pomoćne tačke P_1 koja zaklapa trougao T izlaz-pro. 14- P i P_1 -profil 14-pro-28. Zatim P_2 -profil 75 koja zaklapa trougao pro. 66-pro. 75- P_2 (sl. 8).



Redukovanje koso merenih dužina vršeno je logaritamskim putem po formuli: $r = h \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}$ na mm.

Računski kontrolisana dužina pomoću ove dve osnovice iznosi 566 m. a odstupanje od koso merene dužine i redukovane logaritamskim putem na mm, sa visinskim razlikama koje su dobivene nivelmanom iznosi: $\Delta d = 0,03$ metra.

Ukupna redukovana dužina cevovoda od T izlaza do »C« iznela je 1697,768 dok je ista ova dužina sračunata iz koordinata krajnjih tačaka iznela 1697,654. Razlika ovih dveju dužina je $\Delta d = 0,114$ metara. Ova razlika po jednom metru iznosi 0.000067 tj. 1 : 15 000

Snimanje uzdužnog profila vršeno je nivelmanskim putem, uključujući svaki pojedini profil između već određenih repera duž ose cevovoda, tako da $[\Delta h]$ bude u granicama dozvoljenog odstupanja sa razlikom kota repera između kojih su isti uključeni prilikom nivelanja.

Snimanje poprečnih profila vršeno je teodolitom sa tri konca tačno pod uglom od 90° na osovini cevovoda, levo i desno u širini koju su projektanti za svaki profil zahtevali (prosečno 20 levo i 20 desno m).

Kada je izvršeno snimanje poprečnih i uzdužnih profila naneti su na milimetarsku hartiju i dati projektantima na korišćenje. Isto tako za svaki glavni profil sračunate su koordinate po trigonometrijskom obrascu br. 22.

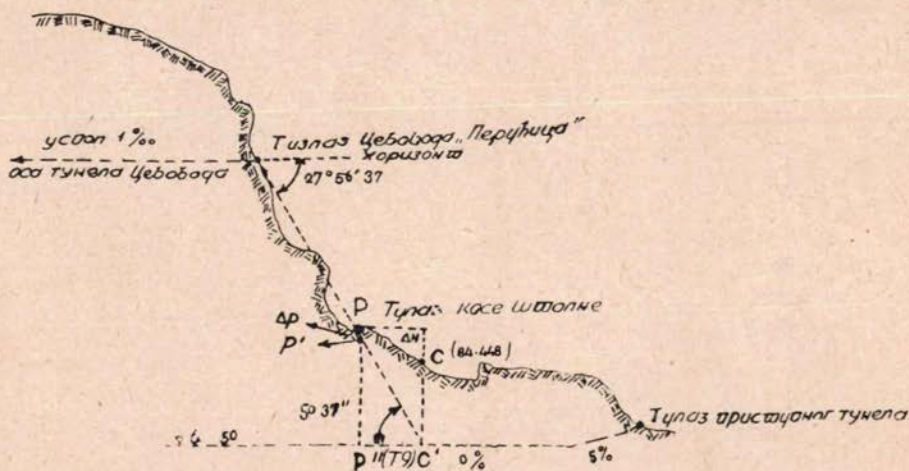
Po završenom projektovanju oni su na nacrtu uzdužnog profila, povlačeći niveletu cevovoda, odredili mesta ulaznog i izlaznog portala tunela, kose štolne i pristupnog tunela cevovoda.

Sa uzdužnog profila na kojemu je povučena niveleta ose cevovoda i označena — kotirana — mesta portala tunela i gde se cevovod lomi u vertikalnom smislu, izvršeno je prenošenje, na teren projekta, obeležavanje i fiksiranje kolena-temena ($T_1—T^0$). Njihovo odmeranje na pravcu ose cevovoda vršeno je od najbližih već fiksiranih glavnih profila do na sm. po projektu. Osiguranja su vršena upravo na osovinu, sa leve i desne strane, horizontalnim odmeranjem dužina i iglovima.

III.

Davanje pravca u horizontalnom i vertikalnom pravcu i praćenje zemljanih radova na kosoj štolni vršeno je na sledeći način:

Pošto je izvođač radova već bio počeo iskop na ulaznom portalu kose štolne napadajući je sa strane, fiksirano je proizvoljno u iskopu na pravcu ose cevovoda jedna pomoćna tačka P' (sl. 9).



Сл. 9

Izmerena je kosa dužine od tačke »C« do P' . Zatim je izniveilirana tačka P' , pošto je »C« ranije izniveilirano i sračunata njena kota. Visinska razlika ΔH za redukovanje kose dužine između ove dve tačke dobijena je kao razlika njihovih kota. Redukovanjem kose dužine »C«— P' došlo se do horizontalnog ostojanja između njih. Iz pravouglog trougla $P'—P''—T^9$ (gde je T^9 horizontalna projekcija »C« na nivo 64,350 a P' visinski položaj tačke P po projektu) u kojemu je poznata kateta $P'—T^9$ i ugao α (ugao nagiba kose štolne prema horizontali

koji iznosi $27^{\circ} 56' 37''$), sračunata je visinska razlika $P-P''$. Dodajući ovu visinsku razliku koti nivoa iskopa na T 9 odnosno »C« dobijena je kota tačke P tj. kota nivelete iskopa kose štolne na ovom mestu.

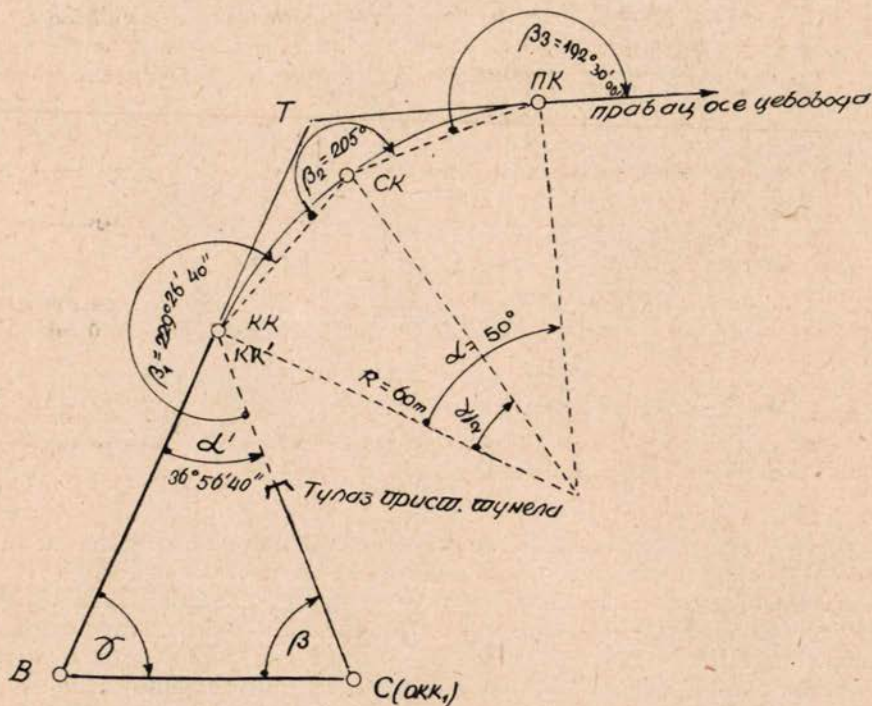
Razlika kota tački P i P' prestavlja odnos nivelete iskopa po projektu prema stvarno izvršenom iskopu na ovom mestu kose štolne. U ovom slučaju razlika je iznosila + 0,355 metara tj. na ovoj tački iskopano je više nego što je trebalo po projektu za 0,355 metara.

Praćenje zemljanih radova kose štolne sa ove tačke vršeno je na sledeći način:

Instrumentat (Wild II) je postavljen na tačku P' i izmerena visina instrumenta. Oduzimajući od visine instrumenta razliku kota $P-P'$ dobijena je veličina osječka na letvi ($l = +i - \Delta p$) koji treba da se čita srednjim koncem kada se na vertikalnom limbusu zauzme ugao $27^{\circ} 56' 37''$, tj. ugao nagiba kose štolne. Pošto je u horizontu ovog instrumenta na limbusu 90° onda je praktično ovaj ugao $62^{\circ} 03' 23''$, tj. dopuna nagibnog ugla kose štolne do 90° .

Pristupni tunel cevovoda počinje krivinom radiusa 60 m. i ulazi svojom osovinom u pravcu ose cevovoda. Njegova dužina je 176 m. Osovina pristupnog tunela bila je predhodno obeležena na terenu pre početka zemljanih radova tako da je KK bio na T ulazu. Pošto je izvođač radova napao tunnel sa strane pomoćnim usekom tunnelom (sl. 10) trebalo se ubaciti u pravac njegove osovine, pratiti iskop u krivini i usmeriti ga od PK ka »C« tj. u pravac ose cevovoda.

Kraj krivine (KK) obeležen je u tunelu na sledeći način:



Sa temena (T) instrumentom je produžen pravac tangente $T-KK$ i na terenu fiksirana tačka B . Zatim je na početku prilaznog useka postavljena i fiksirana tačka C sa koje se dogleda B i KK na terenu. (sl. 10).

U $\triangle KKB$, B , C , izmereni su sva tri ugla i dužina $KK-B$ i BC radi kontrole Zbir uglova u trouglu odstupao je za $30''$ od 180° što za dužine do 50 m. nema praktičnog značaja. Za osnovicu je uzeta redukovana dužina $KK-B$ i sračunato po sinusnoj teoremi odstojanje $C-KK$. Za kontrolu je sračunata i dužina $B-C$ koja je merena i redukovana. Razlika između merene i računate ove dužine iznosila je 0,01 m.

Sada je od tačke C u pravcu KK na terenu odmerena dužina $C-KK$ koja je dobijena računskim putem i fiksiran KK' u tunelu, koji mora biti u vertikali sa KK na površini terena. Davanje pravca krivine pristupnog tunela vršeno je na sledeći način:

Postavljen je instrumenat na KK u tunelu i nula na limbusu orijentisana na C . Zatim je, durbin okrenut oko ose alhidadine za ugao β_1 koji je $180 + \alpha'$ (u našem slučaju $216^\circ 56' 40''$) tako da se dobije pravac tangente ove kružne krivine. Pošto je na svaka 2 metra luka kontrolisan pravac, to se ovom uglu ($180 + \beta'$) za svaka 2 metra luka dodavao ugao od $57' 18''$ idući od KK prema CK (ovaj ugao odgovara vrednosti periferiskog ugla za dužinu luka od 2 metra a radius od 60 metara). CK je obeležen i fiksirana pomoću tetive $KK-CK$ koja je sračunata po formuli $t = 2C \cdot \sin \frac{\alpha}{4}$, gdje je P poluprečnik a α (u našem

slučaju 50°) centralni ugao krivine. Na isti način praćena je osovina od CK do PK tim što je PK određen sa CK vizirajući nulom na limbusu na KK , zatim okrećući durbin oko ose olihadidne za 205° (jer je ugao β_2 na $CK = 360 -$

$(180 - \frac{\alpha}{2}) (= 180 + \frac{\alpha}{2})$ odmerena je tetiva $CK-PK$ i fiksirana tačka PK .

Sa PK osovina tunela ulazi u pravcu ose cevovoda. Prelomni ugao β_3 na PK je $180 + \frac{\alpha}{4}$ (u našem slučaju $192^\circ 30' 00''$). Dakle dalje praćenje pravca je jednostavno pošto je tunel u pravoj liniji.

Linearno ostupanje ose pristupnog tunela prilikom proboja na susretu iz jednog i drugog pravca iznosilo je 0,035 a na tunelu cevovoda 0,10 od metra.

RÉSUMÉ. — *L'auteur décrit les méthodes et le procédé de travail effectuées à la construction de l'hydro-central Peručica ainsi que le placement de plusieurs objets appartenants à la dite centrale.*