

## GEODETSKI RADOVI NA OBILJEŽAVANJU I IZVOĐENJU EKSPERIMENTALNE BRANE IDBAR

### UVOD

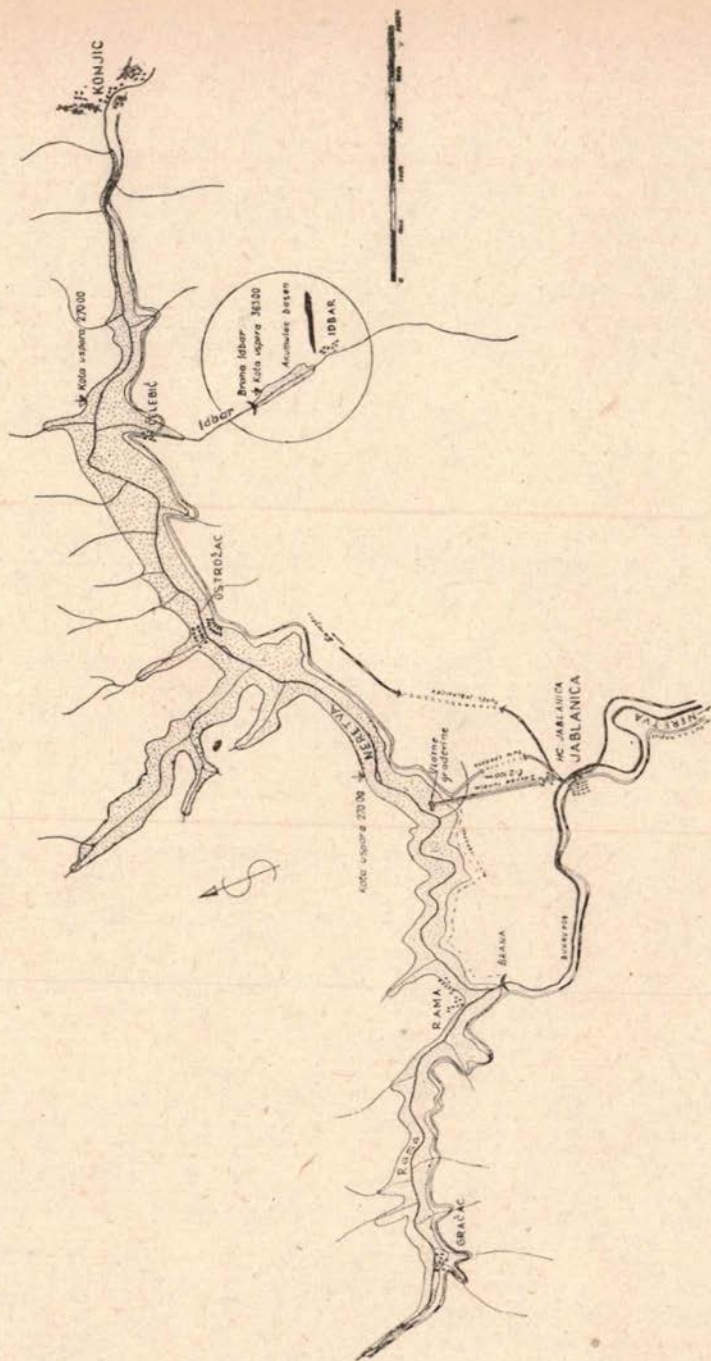
Brana Idbar izgrađena je u svrhu zadržavanja nanosa koga riječica Idbar u velikim količinama unosi u akumulacioni bazen HC Jablanice. Pored toga ova hrana treba da posluži i u eksperimentalne svrhe u cilju unapređenja metoda projektovanja brana. To je jedna izvanredno tanka lučna brana sa vrlo malom kubaturom betona.

Riječica Idbar izvire ispod planine Tisovice jedne od ogranaka Prenja, i sa svojim pritokama spušta se u gornjem toku velikim padom, tako da u klisuri kod sela Idbar pad iznosi 3,8<sup>0</sup>/. Čitav sliv je izrazito bujičavog karaktera, sa golim padinama i velikim prilivom vode u kišnim danima i prilikom naglog topljenja snijega. Ušće rijeke Idbar nalazi se 6 km nizvodno od Konjica, ulijeva se kao lijeva pritoka u rijeku Neretvu (odnosno akumulacioni bazen HC Jablanica) a na oko 9 km uzvodno od Ulaznih gradina.

Prema novijim hidrometerološkim podacima u godinama 1937 i 1952, nastupile su katastrofalne vode, koje su prouzrokovale velike poplave i nanijele ogromne štete. Ilustracije radi navodi se da je bujica tokom jednog dana odnosila po nekoliko manjih pregrada, koje su bile podignute radi spriječavanja bujica, rušila je mostove i po nekoliko kilometara puta i potpornih zidova, a veći broj okolnih oranica i vrtova zasut je nanosom i pretvoren u sprudove. Prema podacima institucija koje se bave problemima bujica u ovom kraju količina nonosa koji Idbar unosi u Jablaničko jezero, računa se na oko 80.000 m<sup>3</sup> nanosa godišnje. Idbar kada nadode ima veliki poticaj i snagu, te se može uzeti da njegove vode odnesu godišnje u prosjeku oko 1.500 m<sup>3</sup> sa jednog km<sup>2</sup> slivnog područja.

### AKUMULACIONI BAZEN

Zapremina akumulacionog bazena Idbar iznosi oko 1.800.000 m<sup>3</sup>. Bazen se proteže od brane uzvodno do pod selo Idbar na dužini oko 1.400 m sa prosječnom širinom oko 130 metara (Sl. 1). Jezero potapa znatne površine ziratnog zemljišta koje je većim dijelom na desnoj strani Idbra, dok



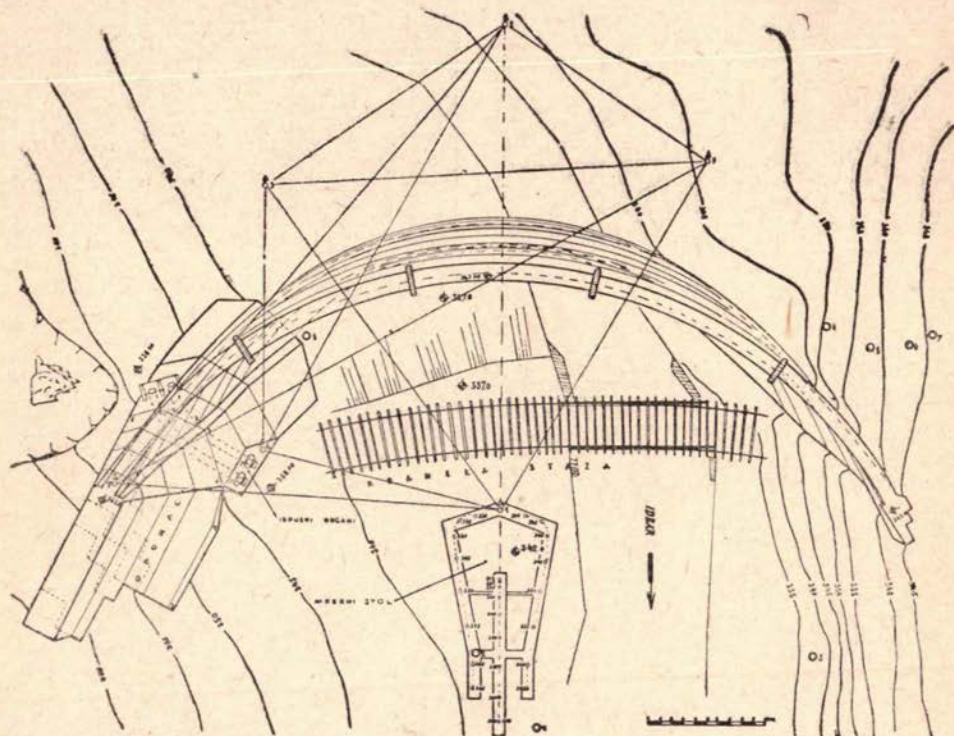
Sl. 1 — Situacija akumulacionog bazena »Idbar« u odnosu na akumulacioni bazen HC Jablanica.



je lijeva obala uglavnom gola i neplodna. Od objekata i naselja tako rekuć jezero ne potapa gotovo ništa (2—3 objekta).

Prema proračunima na kojima bazira projekat, u bazen će se godišnje taložiti 80.000 m<sup>3</sup> nanosa, i akumulacija će trajati 22 god., da bi se bazen potpuno zasuo nanosom.

Akumulacioni bazen može da se prazni i puni prema potrebama, što kod mnogih drugih bazen nije slučaj. Ova okolnost je naročito pogodna jer pruža idealnu mogućnost da se prate oskultacije brane. Pražnjenje akumulacionog bazena vrši se kroz ispusne organe u oporcu na desnoj



Sl. 2 — Situacija brane »Idbar« sa triangulacijom, položajem repera i mjernim stolom.

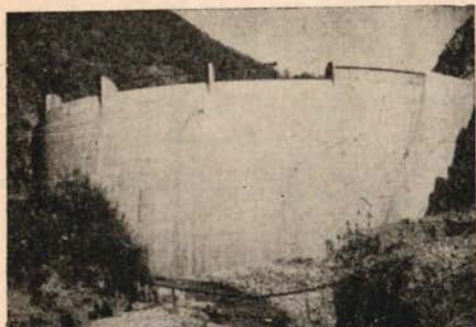
obali na koti 338.00 koji se sastoje iz dva ispusta  $\varnothing$  0,70m, dok se evakuacija velikih voda vrši prelivom preko brane kroz tri preljevna polja na koti 363.00 u dužini od 48.00 metara.

#### OBLIK I KARAKTERISTIKE BRANE

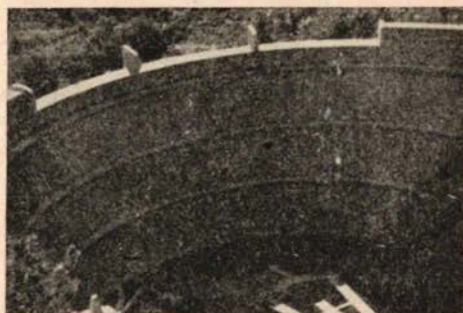
U konstruktivnom pogledu brana ima oblik dijela prostorno zakrivljene kupole, koja statički djeluje kao sistem luka i konzole. Ima dvije zakrivljenosti: horizontalnu i vertikalnu. Brana je betonska — nearmirana,



jako je vitka i sa izraženom vertikalnom zakrivljenošću. Kod nas u jugoslavenskoj građevinskoj operativi, od svih do danas izgrađenih brana, ova se može smatrati kao jedinstven primjer. Odlikuje se elegancijom linije, smjelošću konstrukcije i projekta, i kao što je već rečeno vitkošću. Projektant brane Idbar je Ing. Dušan Milovanović iz Hidrotehničkog instituta Ing. Jaroslav Černi« u Beogradu.

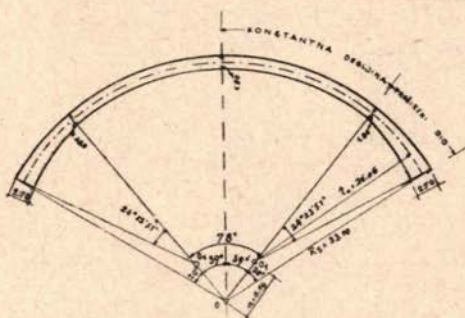


Sl. 3a — Pogled na branu sa uzvodne strane.



Sl. 3b — Pogled na branu sa nizvodne strane.

Svaki horizontalni presjek oivičen je sa spoljne uzvodne strane kružnim lukom, dok je osovina presjeka sastavljena iz tri kružna luka. Unutrašnja (nizvodna) strana na srednjem dijelu je kružni luk, tako da je presjek konstantne debljine, dok su prošireni dijelovi na oba kraja krivulje sa promjenljivim radiusima.



Sl. 4 — Horizontalni presjek brane na koti 345.

Na desnoj obali izgrađen je oporac, obzirom da je desna obala Idbra rastresit, nehomogen materijal i slabe nosivosti, sa svrhom:

1. Da popravi loš geološki sastav temelja i time učini stabilan oslonac za lokaciju lučne brane. Sa lijeve strane Idbra u temelju brane stijena je čvrsta i kompaktna, jedino na dijelu od kote 358 do 365, moralo se sa iskopom dublje ići u masiv, te je i tu izgrađen jedan manji oporac i nešto



šira stopa luka brane, jer je na tome dijelu krečnjak bio slab i rastresit sa jednom lasi protkanom crvenicom.

2. Da se u oporac smjeste ispusni organi za evakuaciju vode.

Brana je geometrijski simetrična i elementi su joj slijedeći:

Gradevinska visina od najniže do najviše tačke	38.00 met.
Radiusi su za svaki visinski metar različiti a kreću se od	30.29 do 39.00 met.
Debljina u temelju je	4.20 met. a u kruni je . . . . . 1.10 met.
Prosječna debljina brane . . . . .	1.72 met.
Dužina razvijenog dijela po luku u kruni brane je	100 met.
Centralni uglovi u gornjim dijelovima . . . . .	120°
Poluprečnik vertikalne krivine u tjemenu . . . . .	102.00 met.
Najveća debljina oporca u dnu . . . . .	12.00 met.
Najmanja debljina oporca u kruni . . . . .	3.00 met.
Kubatura betona u brani . . . . .	4.100 m <sup>3</sup>
Kubatura betona u oporcu . . . . .	3.350 m <sup>3</sup>

Preljev preko brane ranijim projektom bio je predviđen sa dva simetrična preljevna polja dužine po 30.00 met. ali je tokom građenja nastupila izmjena tako da je izgrađen preljev na koti 363.00 sa tri preljevna polja po 16.00 met. u ukupnoj dužini 48.00 m. (Vidi sl. 5).

Tijelo brane sastoji se iz 7 lamela (blokova) (Sl. 5) čija dužina na svakoj koti po uzvodnoj strani luka iznosi 12.00 met. Ova dužina ne odnosi se na krajnje lamele br. 1 i 7, čija je dužina određena i fiksirana krajnjim radiusima i uglom proširenog dijela brane. Veličinu (dužinu) svake lamele određivale su razdelnice.

Pored namjene za sprječavanje nanosa brana će služiti i u eksperimentalne svrhe. U nju su na pojedinim lamelama a na raznim visinama ugrađeni akustični elektro-ekstenzometri, koji će služiti za mjerenja deformacije koje potiču od promjena pritisaka i temperature. Na nizvodnoj strani brane nalaze se za potrebe vršenja oskultacije četiri konzole (terase) po cijeloj dužini brane na razmacima od po 8.0 met, i to na kotama 336, 344, 352 i 360. (Sl. 3 i 5 nizvodno lice brane sa konzolama) koji omogućavaju pristup velikom broju ugrađenih tačaka u tijelu brane.

Predviđena je i oskultacija brane geodetskim metodama, čiji radovi su u toku, a koja ima za cilj praćenje pomjeranja brane, temelja i padina akumulacionog bazena i to:

trigonometrijskom metodom, alinijamanom i preciznim nivelmanom.

Ovaj objekat će biti naročito interesantan za vršenje gore navedenih metoda oskultacije i očekuje se da će pokazati znatne rezultate.

## TEMELJI BRANE I OPORCA

(Nepredviđene poteškoće prilikom izvođenja).

Svrha ovog članka je da u glavnim crtama opiše rad na obelježavanju i izvođenju kod građenja ovog objekta, da prikaže kako je projektom zamišljen prenos istoga na teren, a kako je u izvođenju izvršeno, te da



ukaže na dobre kao i na loše strane toga postupka. Zatim rješavanje mnogih problema koji su tokom građenja nastupali na ovom gradilištu.

Za što vjerniji prikaz i ilustraciju potrebno je udaljiti se na ovom mjestu od suštine članka, kako bi se dobila jasnija slika o nepredviđenim poteškoćama i problemima sa kojim se sukobljavalo prilikom izvođenja ovog objekta.

Radove na izvođenju objekta brane Idbar izvršilo je Željezničko građevinsko preduzeće br. 1 iz Sarajeva.

Tokom kopanja temeljne jame i u toku izgradnje brane, gradilište je u nekoliko navrata zadesila poplava.

U mjesecu novembru 1956 god. gradilište je zadesila prva poplava, koja nije nanijela neke znatne materijalne štete, ali je onemogućila rad za izvjesno vrijeme, jer je priliv vode u temeljnu jamu i pored evakuacionih organa bio tako veliki, da ga gradilišne pumpe nisu mogle savladati.

U oktobru 1957 god. uslijed provale oblaka nastupila je poplava koja je nanijela i znatne materijalne štete gradilištu i apsolutno onemogućila rad zbog visokog vodostaja Idbra.

Poplave su se nastavljale jedna za drugom u decembru 1957 god., februaru i aprilu 1958 god. Poplava od decembra 1957 god. zatrpala je iskopani temelj lučnog dijela brane nanosom, a proljetno topljenje snijega sa planina Tisovice i Prenja podiglo je vodostaj Idbra za duže vrijeme, tako da se je tek poslije par mjeseci moglo pristupiti čišćenju temeljne jame od nanosa i betoniranju temelja lučnog dijela brane.

Projektom je zamišljena evakuacija vode prilikom iskopa temelja i građenja, drvenom vadom presjeka  $40 \times 60$  cm. dužine 90 metara, uhvaćenom sa provizornim zagatom od ilovače na okuci rijeke. Evakuaciju vode gradilište je riješilo tako, da je na okuci rijeke provizornim zagatom voda skrenuta u bočni kanal u lijevoj obali na čijem su izlazu postavljene 3 cijevi  $\varnothing$  0,60 m. koje su preko drvenog mosta na dijelu lamele br. 5 prolazile preko temeljne jame na koti 336. Kada se je sa betonom luka brane stiglo u visinu cijevi za evakuaciju vode, cijevi je trebalo demontirati i ponovo montirati u položaju da prolaze radialno kroz jednu lamelu, što ranije nije bilo predviđeno, a u samoj brani ostavljen je kružni otvor  $\varnothing$  2.00 metara koji je po završetku brane zatvoren.

Opšte mišljenje je, a i tokom građenja se uvidilo da je bio nedostatak da se u projektu nije predvidilo na lijevoj obali jedna optočna štolna. Ona bi omogućila nesmetan rad preko cijele godine, i skratila bi vrijeme izgradnje objekta, osim toga smanjili bi se izdaci i omogućilo zaposlenje ljudi i mašina na drugim gradilištima. Da je takva štolna postojala, ne bi uopšte došlo do problema na koji način da se zatvori kružni otvor u tijelu brane na lameli br. 5 na koti 336. Osim toga štolna bi sistemom zatvarača mogla da posluži kao temeljni ispust u slučaju potrebe pražnjenja akumulacionog bazena, u koliko predviđeni ispusni organi u oporcu nebi mogli zadovoljiti.

Još jedan događaj koji ilustrativno govori u prilog optočne štolne, desio se u decembru 1958 god. U toku je bilo betoniranje preljeva (krune brane) kota 362. Otvor koji je služio za evakuaciju vode kako je već re-

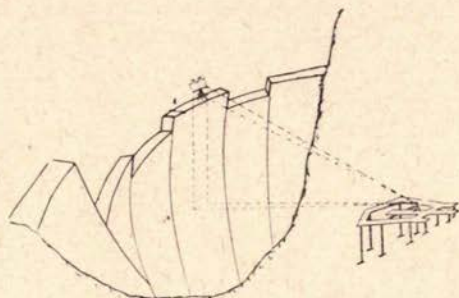


čeno nalazio se na koti 336. Usljed velikih kiša Idbar je naglo nadošao, kroz otvor profila 2.00 met. voda je kuljala, poplavila gradilište nizvodno od brane, podlokala kransku stazu i za neko vrijeme paralisala bilo kakav rad na gradilištu.

## OBILJEŽAVANJE OPORCA I BRANE

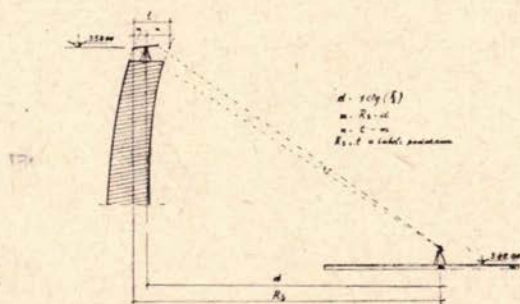
(Elementi za obilježavanje):

Obilježavanje oporca i brane projektom je zamišljeno da se vrši sa posebne konstrukcije tzv. mjernog stola, koja je prema projektu i izgrađena. (Vidi sl. 6).



Sl. 5 — Način obilježavanja sa mjernog stola pomoću bazisne letve.

Na srednjem dijelu (u simetrali) konstrukcije, stabilizirani su centri svih srednjih lukova, odnosno svaki visinski metar imao je svoj centar i svoj radius.

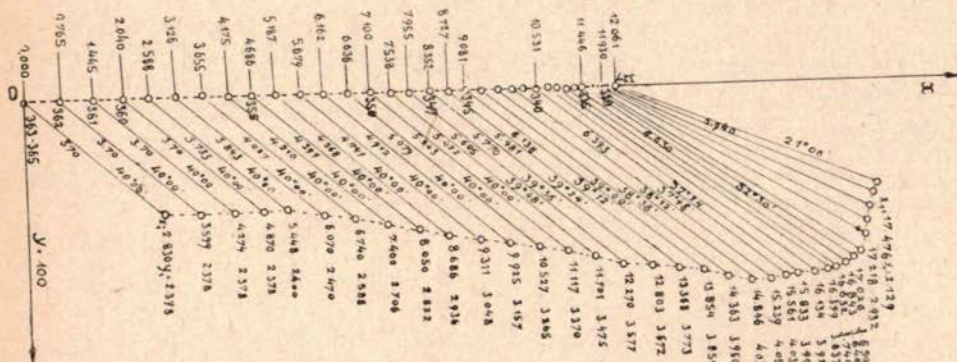


Sl. 6 — Konstrukcija za obilježavanje.

Na bočnim stranama stola, lijevoj i desnoj, nalaze se takođe fiksirani centri svakog krajnjeg luka, koji se odnose na prošireni dio brane. Potrebno je napomenuti da uglovi za proširenja sa ovih bočnih centara nisu projektom dati za svaki luk i svaki metar, već na svakih 5 metara, od kote 330 do 365 tako da je kod rada sa bočnih centara na svaki metar trebalo sračunati ove uglove.

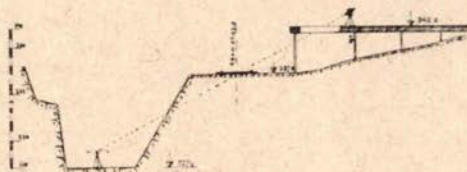
Način obilježavanja zamišljen je da se vrši sa mjernog stola, sa horizontalnom bazisnom letvom, odnosno očitavanjem paralaktičnog ugla, i potrebnim domjerama do zadate dužine radiusa.

Prema uslovima projekta obilježavanje je trebalo izvršiti sa tačnošću  $\pm 1$  mm., dok za postavljanje oplata za betoniranje dozvoljena je tolerancija  $\pm 1,5$  cm.



Sl. 7 — Raspored centara na konstrukciju za obilježavanje.

Način obilježavanja kako je sa projektom predviđeno sa mjerenjem sa konstrukcije (mjernog stola) nije se pokazao kao praktičan, osobito na dijelu u temelju brane t. j. od kote 327 pa do kote 337, sve dok se bazisna letva nije mogla dogledati. Obzirom da najniži dijelovi brane u temelju počinju na koti 327 a sama konstrukcija za obilježavanje (mjerni sto) je na koti 342, to se bazisna letva nije mogla dogledati uslijed zapreke koji stvara teren (nizvodna škarpa u temeljnoj jami — v. sl. 8).



Sl. 8 — Prikaz nedogledanje bazisne letve za konstrukciju za obilježavanje u temeljnoj jami brane.

Takođe ovaj način za obilježavanje i prenos projekta na teren pokazao se kao nepraktičan i iz slijedećih razloga, kao na pr.:

a) sama konstrukcija stola, kao i vertikalni betonski stubići, koji nose bočne strane, su u istoj visini sa srednjim dijelom konstrukcije, te prilikom davanja elemenata sa srednjih centara na simetrali od kote 327 do 337, same bočne staze ometale su viziranja na bazisnu letvu;



b) morali bi se praviti prenosi instrumenta i bazisne letve, te u dva i više dijelova vršiti mjerenja jedne dužine (do zadatog radiusa), a čime se gubi u tačnosti i vremenu;

c) u dijelovima na lijevoj i desnoj strani iskopa za branu, gdje su nagibi stijene jako strmi, kao i nagib samoga oporca, bazisnu letvu je bilo nemoguće i postaviti i centrirati.

Na osnovu gornjih poteškoća koje su nastupile prilikom rada a za pravilno davanje lemenata i prenos projekta na teren, pristupilo se postavljanju lokalne trigonometrijske mreže. Raspored tačaka kod rekonosciranja i postavljanja istih, izvršen je tako da se mogu pratiti i davati elementi od temelja pa sve do krune brane t. j. kod kote 327 do 365. Ova mreža vezana je i za centre na konstrukciji za obelježavanje. (Vidi sl. 2).

Kao osnovica (baza) uzeta je dužina na simetrali brane 01—02, koja je mjerena direktno čeličnom komparisanom pantljkikom, a za kontrolu i bazisno mletvom, čija je dužina iznosila 44.721 met. Ova trigonometrijska mreža izravnata je kao samostalna mreža po teoriji najmanjih kvadrata. (Izravnanje ove mreže izvršio je Ing. Aganović Ismet. Tehn. fakultet — Sarajevo. Ovu priliku koristim da se ujedno i zahvalim Ing. Aganoviću sa kojim sam se konsultovao u pogledu izvjesnih geodetskih problema i dobijao stručna mišljenja u vezi rješavanja nekih problema, kao i kod pisanja ovog članka).

Koordinate tačaka sračunate su do na milimetar.

Istovremeno se pristupilo i računanju koordinata tačaka svih centara na konstrukciji za obelježavanje, u istom lokalnom koordinatnom sistemu. Koordinatni sistem odabrat je tako da os X ide simetralom brane, a tačka C-365 da ima  $y = 100,0$  met. i  $X = 0,000$  met. Ostali elementi su uzeti i sračunati iz projekta. Pošto su svi centri srednjih lukova na simetrali brane t. j. na jednoj liniji koordinate su sračunate po trig. obrascu 22. (Vidi sl. 7).

Kod računanja koordinata tačaka na lukovima brane, računete su koordinate tačaka za svaki luk, za uzvodnu i nizvodnu stranu. Prilikom računanja uzeto je da međusobni razmak obelježenih tačaka na svakom luku bude oko 1,5 met. Ova gustina tačaka dovoljna je, obzirom da su i komadi montažne oplata iste širine, a gustina tačaka na ovom odstojanju dovoljno pravilno ocrtava dijelove luka. Ovaj razmak tačaka, računat je tako da je uzet centralni ugao iz svakog centra od  $2^{\circ} 50'$ , tako da je ovim uglom diktiran položaj svake tačke.

Kako je vršeno računanje koordinata tačaka na jednom luku, prikazano je u tabelama, gdje je sračunata uzvodna strana luka na koti 347.

Kako je već ranije rečeno na svim uzvodnim lukovima radius je iste veličine, u ovom slučaju  $R_s = 33.624$  m., to vrijednost za  $y = R_s \cdot \sin \gamma_n$ , a za  $X = R_s \cdot \cos \gamma_n$ . Pošto je vrijednost za  $y$  u ishodištu C—365, uzeta da je  $y = 100$ , to sve koordinate tačaka po  $y$  — osovini na desnu stranu od simetrale brane dobile su vrijednost  $100 + \Delta y$ , a koordinate tačaka lukova na lijevu stranu od simetrale vrijednosti  $100 - y$ . (Vidi tab. 2).



TAČKA	BEŠLJ. č	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\text{Coq Sin } \delta$ $\text{Coq R}_6$ $\text{Coq Cos } \delta$	$\text{Coq R}_5 \text{ Sin } \delta$ $\text{Coq R}_5 \text{ Cos } \delta$	$\Delta y$	$\Delta X$	X	
1	1696			2°50	8.99 400 1.52 665 9.99 947	0.22 065 1.52 612	1.662	33.583	41.935	8552
2.				5°40	8.99 450 1.52 665 9.99 787	0.52 115 1.52 452	3.320	33.460	41.812	
3.				8°30	9.16 970 1.52 665 9.99 520	0.69 635 1.52 185	4.970	33.255	41.607	
4.				11°20	9.29 340 1.52 665 9.99 145	0.82 005 1.51 810	6.608	32.908	41.320	
5.				14°10	9.38 871 1.52 665 9.98 659	0.91 536 1.51 324	8.229	32.602	40.954	
6.				17°00	9.46 594 1.52 665 9.98 060	0.99 259 1.50 725	9.831	32.155	40.507	
7.				19°50	9.53 056 1.52 665 9.97 344	1.05 721 1.50 009	11.408	31.630	39.982	
8.				22°40	9.58 588 1.52 665 9.96 509	1.11 253 1.49 174	12.958	31.027	39.379	
9.				25°30	9.63 398 1.52 665 9.95 549	1.16 063 1.48 214	14.475	30.349	38.701	
10.				28°20	9.67 633 1.52 665 9.94 458	1.20 298 1.47 123	15.958	29.596	37.948	
11.				31°10	9.71 393 1.52 665 9.93 230	1.24 058 1.45 895	17.401	28.770	37.122	
12.				34°00	9.74 754 1.52 665 9.91 857	1.27 421 1.44 522	18.802	27.875	36.227	
13.				36°50	9.77 778 1.52 665 9.90 330	1.30 443 1.42 995	20.157	26.912	35.264	
13*				39°24	9.80 259 1.52 665 9.88 793	1.32 924 1.41 458	21.342	25.976	34.328	
14.				39°40	9.80 504 1.52 665 9.88 636	1.33 169 1.41 301	21.463	25.883	34.234	
15.				42°30	9.82 968 1.52 665 9.86 763	1.35 633 1.39 428	22.716	24.790	33.142	
16.				45°20	9.85 200 1.52 665 9.84 694	1.37 865 1.37 359	23.914	23.637	31.989	
17.				48°10	9.87 221 1.52 665 9.82 410	1.39 886 1.35 075	25.053	22.426	30.778	
18.				51°00	9.89 050 1.52 665 9.79 887	1.41 715 1.32 552	26.130	21.160	29.512	
19.				53°50	9.90 704 1.52 665 9.77 095	1.43 369 1.29 760	27.145	19.843	28.195	
20.				56°40	9.92 194 1.52 665 9.73 997	1.44 859 1.26 662	28.093	18.477	26.829	
20*	1696			59°24	9.93 487 1.52 665 9.70 675	1.46 152 1.23 340	28.941	17.116	25.468	

Tabela 1 — Računanje koordinata tačaka na luku 347 (uzvodna strana).



TAČKA	DEBLJINA $\delta$	$\delta_n$	X	Y = 100 + $\Delta Y$ DESNO	Y = 100 - $\Delta Y$ LIJEVO
1	1696	2°50	44 935	101 662	98 338
2		5°40	41 812	103 320	96 680
3		8°30	41 607	104 970	95 030
4		11°20	41 320	106 600	93 392
5		14°10	40 954	108 229	91 771
6		17°00	40 507	109 831	90 169
7		19°50	39 982	111 408	88 592
8		22°40	39 379	112 958	87 042
9		25°30	38 701	114 475	85 525
10		28°20	37 948	115 968	84 042
11		31°10	37 122	117 441	82 599
12		34°00	36 227	118 802	81 198
13		36°50	35 264	120 157	79 843
14		39°40	34 228	121 504	78 528
15		39°40	34 228	121 463	78 537
16		42°30	33 142	122 746	77 284
17		45°20	31 989	123 914	76 086
18		48°10	30 778	125 053	74 947
19		51°00	29 512	126 130	73 870
20		53°50	28 195	127 145	72 855
21		56°40	26 829	128 093	71 907
22	1696	59°30	25 468	128 941	71 059
R <sub>s</sub> = 33.624					

Tabela 2. Koordinate tačaka na luku 347 (uzvodna strana)

T <sub>n</sub>	CENTR UGAO		RAZLIKA CENTR DIFFERENCIJA					RAZLIKA CENTR UGLOVA $\delta$		DEBLJINA BRANE				
	$\gamma_n$	* 1	PROJEKTI					$\Delta \delta$		PROJEKTI				
			0	1	1	1	1	+	-	t <sub>i</sub>	$\Delta t$	DEKUPIRANO t		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
13	39	24	0	00	0	00			1696		1			
14	39	40	0	16			16				1697			
15	42	30	3	06	1	42	102	36	1702	8	5			
16	45	20	5	56	3	24	102	18	1722	20	4			
17	48	10	8	46	5	06	102		1752					
18	51	00	11	36	6	48	102	52	1794	42	22			
19	53	50	14	26	8	30	102		1850					
20	56	40	17	16	10	12	102	86	1916	66	56			
21	59	24	20	00	11	54	102	18	1994	78	14			
22					13	36	102		2084					
					15	18	102	52	2186	102	52			
					17	00	102		2302					
					18	42	102	86	2426	124	105			
					20	00	78		2528					

Tabela 4. Računanje proširenja  $\Delta t_i$  na luku 347

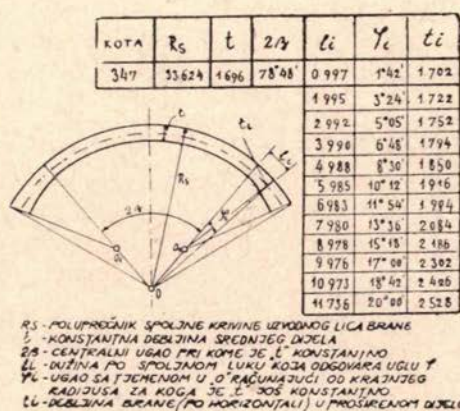


Tabela 3. Izvod iz tabele za obilježavanje brane, elementi za luk 347

TAČKA	DEBJ Z	$\delta_n$	$\log \sin \delta_n$ $\log R_s - R_n$ $\log \cos \delta_n$	$\log R_s \cdot \sin \delta_n$ $\log R_s \cdot \cos \delta_n$	$\Delta Y$	$\Delta X$	X	
1.	1696	2°50	8.69 400 1.50 417 9.99 947	0.19 817 1.50 364	1578	31.890	40.242	8.552
2.		5°40	8.99 450 1.50 417 9.99 787	0.49 867 1.50 204	3153	31.772	40.124	
3.		8°30	9.16 970 1.50 417 9.99 520	0.67 387 1.49 937	4719	31.577	39.929	
4.		11°20	9.29 340 1.50 417 9.99 145	0.79 757 1.49 562	6274	31.306	39.658	
5.		14°10	9.38 871 1.50 417 9.98 659	0.89 288 1.49 076	7814	30.957	39.309	
6.		17°00	9.46 594 1.50 417 9.98 060	0.97 011 1.48 477	9335	30.533	38.885	
7.		19°50	9.53 056 1.50 417 9.97 344	1.03 473 1.47 761	10832	30.034	38.386	
8.		22°40	9.58 588 1.50 417 9.96 509	1.09 005 1.46 926	12304	29.462	37.814	
9.		25°30	9.63 398 1.50 417 9.95 549	1.13 845 1.45 966	13745	28.848	37.170	
10.		28°20	9.67 633 1.50 417 9.94 458	1.18 050 1.44 875	15153	28.103	36.455	
11.		31°10	9.71 393 1.50 417 9.93 230	1.21 810 1.43 647	16524	27.320	35.672	
12.		34°00	9.74 756 1.50 417 9.91 857	1.25 173 1.42 274	17854	26.470	34.822	
13.		36°50	9.77 778 1.50 417 9.90 330	1.28 195 1.40 747	19140	25.555	33.907	
13 <sup>a</sup>	1696 R-31923	39°24	9.80 259 1.50 417 9.88 793	1.30 676 1.39 210	20266	24.666	33.018	
14.	1697 R-31927	39°40	9.80 504 1.50 416 9.88 636	1.30 920 1.39 052	20380	24.576	32.928	
15.	1718 R-31906	42°30	9.82 968 1.50 387 9.86 763	1.33 355 1.37 150	21555	23.523	31.875	
16.	1772 R-31852	45°20	9.85 200 1.50 314 9.84 694	1.35 514 1.35 008	22654	22.392	30.744	
17.	1861 R-31763	48°40	9.87 221 1.50 192 9.82 410	1.37 413 1.32 602	23666	21.184	29.536	
18.	1980 R-31644	51°00	9.89 050 1.50 029 9.79 887	1.39 079 1.29 916	24592	19.914	28.266	
19.	2134 R-31490	53°50	9.90 704 1.49 817 9.77 095	1.40 521 1.26 912	25422	18.583	26.955	
20.	2321 R-31303	56°40	9.92 194 1.49 558 9.73 997	1.41 752 1.23 555	26153	17.201	25.553	
20 <sup>a</sup>	2528 R-31096	59°24	9.93 487 1.49 270 9.70 675	1.42 757 1.19 945	26765	15.829	24.181	

Tabela 5 — Računanje koordinata tačaka na luku 347 (nizvodna strana)



Računanje koordinata tačaka za kružne lukove nizvodne strane, na srednjem dijelu gdje je brana konstantne debljine, vršeno je analogno računanju koordinata uzvodne strane, s tim što je radius umanjen za debljinu »t« brane za dotični luk.

TAČKA	DEBLJINA	$\beta_2$	X	$y = 100 + \Delta y$ DESNO	$y = 100 - \Delta y$ LIJEVO
1	1.696	2°50'	40 242	101 578	98 422
2		5°40'	40 124	103 153	96 847
3		8°30'	39 929	104 719	95 281
4		11°20'	39 658	106 274	93 726
5		14°10'	39 309	107 814	92 186
6		17°00'	38 885	109 335	90 665
7		19°50'	38 386	110 832	89 168
8		22°40'	37 814	112 304	87 696
9		25°30'	37 170	113 745	86 255
10		28°20'	36 455	115 153	84 847
11		31°10'	35 672	116 524	83 476
12		34°00'	34 822	117 854	82 146
13		36°50'	33 907	119 140	80 860
13 <sup>a</sup>	1.696	39°24'	33 018	120 266	79 734
14	1.697	39°40'	32 928	120 380	79 620
15	1.718	42°30'	31 875	121 555	78 445
16	1.772	45°20'	30 744	122 654	77 346
17	1.861	48°10'	29 536	123 666	76 334
18	1.980	51°00'	28 266	124 592	75 408
19	2.134	53°50'	26 935	125 422	74 578
20	2.321	56°40'	25 553	126 153	73 847
20 <sup>a</sup>	2.528	59°24'	24 181	126 765	73 235
$R_n = 31928$					

Tabela 6

Računanje koordinata tačaka na proširenom dijelu nizvodnog luka brane (sl. 10 — tačke nizvodne 13a do 20a) računane su na osnovu promjenljivih radiusa dobijenih oduzimanjem promjenljive debljine presjeka brane »t<sub>i</sub>« od radiusa luka uzvodne strane. Promjenljive debljine »t<sub>i</sub>« sračunate su iz projekta datih debljina »t<sub>i</sub>« interpolovanjem.

U projektu debljine »t<sub>i</sub>« date su sa argumentom centralnog ugla  $\varphi_i$  tački 0 ugao  $\varphi_i = 10^\circ 42'$ , i ove odgovaraju približno tačkama međusobne udaljenosti po 1 met. (Vidi tab. 3).

Za potrebe iskolčavanja preračunate su debljine »t<sub>i</sub>« sa argumentom centralnog ugla  $\varphi_i = 2^\circ 50'$ , što odgovara tačkama na približnoj udaljenosti 1,5 met., a što odgovara dimenzijama montažne oplata za betoniranje. Vidi Tab. 4 računanje proširenja na luku 347, proširenje počinje sa uglom od  $39^\circ 24'$  (pošto je  $2\beta = 78^\circ 48'$  tab. 3) a debljina »t« sa 1.696 m.

Kada su sračunata proširenja »t<sub>i</sub>« za pojedine tačke ona su određivala veličine unutarnjeg radiusa R<sub>n</sub>, i dobijeni su radiusi za svaku tačku proširenog dijela brane na dijelu nizvodnog luka. Iz tako sračunatih radiusa sračunate su koordinate pojedinih tačaka nizvodne strane. (Vidi tab. 5).

STANICA	V. LUKA	V <sub>L</sub>		UZVODNA STRANA			NIZVODNA STRANA			t <sub>n</sub>			
		0	1	2	0	1	2	0	1		2		
06	Δ O 1	240	08	06									
	Δ O 6	259	19	38									
	Δ O 2	323	23	56									
	11				8 230	314	22	30	8 0 15	302	29	45	1 696
	12				6 6 12	317	19	24	6 437	302	28	38	1 696
	13				4 997	321	15	46	4 861	301	31	00	1 696
	14				3 398	327	35	45	3 297	298	16	28	1 697
	15				1 865	342	15	52	1 882	286	24	15	1 718
	16				0 886	49	19	12	0 865	225	22	00	1 772
	17				1 864	408	23	11	1 849	168	12	33	1 861
	18				3 397	423	05	00	3 365	157	07	26	1 980
	19				4 996	429	23	46	4 920	154	14	32	2 134
	20				6 612	433	20	00	6 482	153	43	52	2 321
	20 <sup>a</sup>				8 172	436	11	39	7 988	154	09	04	2 528

Tabela 7 — Elementi za obilježavanje polarnom metodom lamela br. 6 i 7 na koti 347

Definitivno sračunate koordinate tačaka nizvodne strane luka na koti 347 prikazane su u tablici 6.

#### RADOVI NA IZVODENJU (Iskolčavanje)

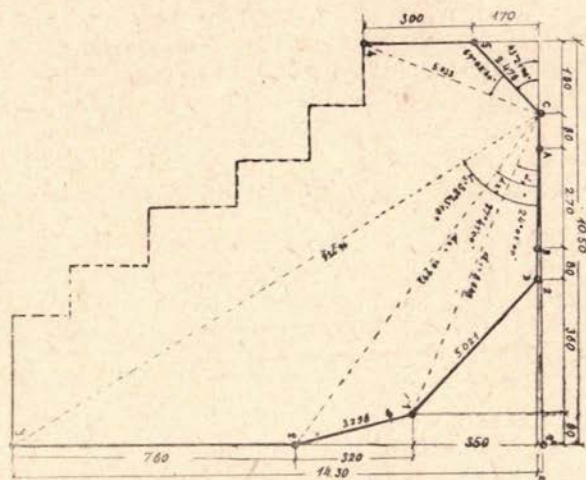
##### a) Oporac :

Na gradilištu od betonskih radova, prvo se je po dovršetku iskopa pristupilo betoniranju oporca na desnoj obali. (Vidi situaciju gradilišta sl. 2). Obilježavanje oporca projektom je predviđeno da se izvrši sa mjernog stola. Na sl. 9 prikazan je horizontalni presjek oporca na koti 345, i način kako je obilježavanje izvršeno i dati elementi za izvođenje.

Iskolčavanje kontura oporca vršeno je tako da bi se presjecanjem sa lokalne trig. mreže ili sa mjernog stola horizontalnom bazisnom letvom



odredile tačke A, B, C i D koje su ujedno na pravcu krajnjeg radiusa proširenog dijela brane, u ovom slučaju kote 345. Tačke A i B su u stvari dodirne tačke i njihova udaljenost jednaka je širini »t<sub>1</sub>« krajnjeg dijela brane na luku 345 uz oporac. Zato je ove tačke trebalo i najtačnije odrediti, dok ostale prelomne tačke su konture samoga oporca, i za njih se nije ni tražila maksimalna tačnost. Ostale karakteristične prelomne tačke oporca 1, 2, 3, 4 i 5, kao što se to vidi iz sl. 9 iskolčavane su polarnom metodom iz tačke C, na koju se postavi instrumenat. Polarne koordinate, uglovi  $\alpha$  i udaljenosti  $d$ , sračunate su prethodno rješavanjem pravokutnih trokutova, čije su vanjske mjere projektom date. Za kontrolu služe direktna odmjeranja na terenu udaljenosti među obelježenih tačaka, koja treba da odgovaraju veličinama datim iz projekta.



Sl. 9 — Način obilježavanja oporca u izvođenju, presjek na koti 345.

Iz crteža (sl. 9) t. j. horizontalnog presjeka oporca vidi se da iskolčavanje tačaka 1, 2, 3, 4 i 5 ortogonalnim koordinatama nije izvodljivo, pošto produženja okomica t. j. apcise padaju izvan betona »u zrak« jer je kota terena mnogo niža od kote presjeka, te ih je na taj način i nemoguće obelježiti i prenijeti na teren.

#### b) Lučna brana :

Prema projektu brana je podijeljena na lamele (blokove). Po završetku iskopa u temelju prvo je izvršeno obilježavanje lamele, kako bi se moglo početi sa postavljanjem oplata i betoniranjem. Kako je već ranije rečeno, uslijed nedogledanja bazisne letve sa konstrukcije za obilježavanje u temelju, obilježavanje je vršeno metodom presjecanja sa lokalne trigonometrijske mreže i na osnovu sračunatih koordinata tačaka za lamelu koja se obelježava.

Projektom je dato da sve lamele osim krajnjih 1 i 7 moraju biti po uzvodnoj strani t. j. vanjskom luku 12,00 met. široke čitavom svojom



visinom od temelja pa do krune brane. Obzirom da je radius za svaki luk i svaki visinski metar različit i da lukovi nisu koncentrični, trebalo je pravce razdelnica posebno računati za svaki slijedeći sloj betoniranja, kako bi se zadovoljilo traženi uslov, da vanjski luk u lameli bude 12,00 met.

Pošto je radius dat projektom, trebalo je sračunati centralne uglove u odnosu na simetralu brane, a to znači od simetrale lijevo i desno na 6,00, 18,00 i 30,00 met.

Ugao  $\alpha$  sračunat iz formule  $\alpha = \frac{180 \cdot l}{r \cdot \pi}$  te na pr. za luk na koti 347, čiji radius  $R_s = 33.624$  m.

Ugao  $\alpha$  za luk 6.00 met. =  $10^\circ 13' 26''$

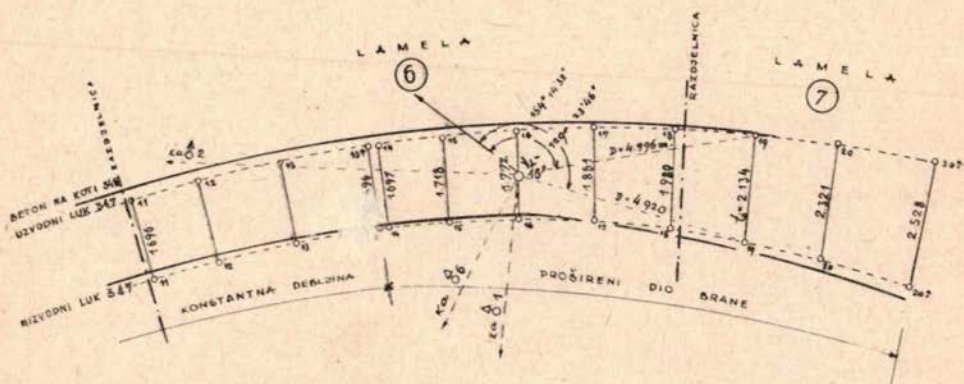
Ugao  $\alpha$  za luk 18.00 met. =  $30^\circ 40' 23''$

Ugao  $\alpha$  za luk 30.00 met. =  $51^\circ 07' 12''$

Po određivanju razdelnica na jednoj lameli koja će se betonirati, pristupa se obelježavanju dotične lamele.

Sračunaju se koordinate pomoćne stajališne tačke iz numeričkih podataka. Na pr. pomoćna stajališna tačka 16' na lameli br. 6 leži u sredini na pravcu radiusa između tačaka 16—16 (vldi sl. 10). Iz koordinata pomoćne stajališne tačke 16' i koordinata trig. tačaka sračunaju se nagibi (smjerni uglovi).

Sa tačke 16' sračunaju se polarne koordinate t. j. dužine i uglovi iz koordinata za svaku tačku luka na uzvodnoj i nizvodnoj strani za dotičnu lamelu koja se obelježava (Tab. 7).



Sl. 10 — Prenos elemenata za postavljanje oplata slijedećeg sloja betoniranja.

Na sl. 10 prikazano je obilježavanje lamela br. 6 i 7 u izvođenju. Obelježavanje je izvršeno polarnom metodom. Mjerenja su vršena vrlo precizno, obzirom da dužine nisu prelazile preko 8,5 met. te se pantljikom vršilo odmjeranja do na 1 milimetar, a uglovi su mjereni sekundnim instrumentom, sa točnošću oko  $10''$  u jednom položaju durbina.

Za kontrolu po obelježavanju tačaka na terenu, služe direktna mjerenja debljine »t« rastojanje među tačkama uzvodne i nizvodne strane.

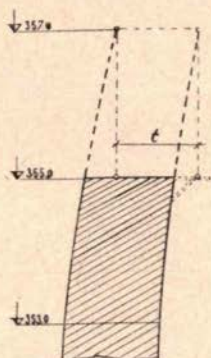


Iz sl. 10 se vidi da udaljenost tačaka 19, iskolčenihi pomoću dužine i uglova, za kontrolu mora iznositi  $t_1 = 2.134$  met.

Betoniranje je vršeno u slojevima od po 2,0 met. visine (sl. 11).

Za svaku lamelu (blok) i svaki slijedeći sloj betoniranja i postavljanja oplata dati su elementi: pravac, razdelnica, spojni i unutrašnji radiusi, debljina tijela brane, pravci razdelnica kao i visinska kota.

Za visinski položaj napredovanja betona kao i određivanja kota prije betoniranja za svaki sloj visine 2.0 met. visine su prenošene sa ugrađenih i iznivelisanih repera, koji su tako raspoređeni na terenu, da se visine od temelja do krune brane mogu nesmetano i brzo prenositi. (Vidi sl. 2).



Sl. 11 — Prenos elemenata za postavljanje oplata slijedećeg sloja betoniranja.

Cilj je bio da se obilježavanje kao i sve kontrole na izvođenju u pogledu mjera i prenosa projekta na teren, izvrše što tačnije. To je na ovom objektu u potpunosti ispunjeno. Obzirom da se na gradilištu uslijed samoga procesa rada redovno pojavljaju razne smetnje (rade tesari, mineri, betoniranje, mašine i dr.) to je pored zahtjeva u pogledu tačnosti potrebno da se geodetski posao na terenu obavi što efikasnije, da se ne bi usporavao i ometao rad na samom izvođenju i građenju objekta. Davanje elemenata je svakodnevno vezano za sam proces gradnje, sa kojim mora biti usklađeno, i paralelno se odvijati.

Obzirom da je brana u gornjim slojevima sasvim tanka, (debljina tijela brane u kruni bila je 1.11 met.) to uslijed velike visine i nagiba brane, prilikom rada na davanju elemenata, geodetski stručnjak morao je biti naročito oprezan kako ne bi došlo do nesreće. Najmanja neopreznost mogla je da dovede do pada sa brane ljudi ili instrumenata.

## TAČNOST OBILJEŽAVANJA

Kod obilježavanja brane i prenosa projekta na teren, upotrebljavana je većim dijelom metoda presjecanja sa primjenom polarne metode, kao i način obilježavanja paralaktičnim uglovima i bazisnom letvom. Tačnost koja je postignuta prilikom obilježavanja gore navedenim načinima rada vidi se iz dole izloženog.



Paralaktički uglovi mjereni su u 3 girusa, da bi se postigla srednja greška  $m_x = \pm 1''$ .

Srednja greška dužine određena mjerenjem paralaktičnih uglova i bazisne letve od 2 met. iznosi:

$$m_D = \pm \frac{m_x}{l \cdot \rho} \cdot D^2 = \frac{1}{2m \cdot 206\,265''} \cdot D^2 = \frac{D^2}{412530} \quad 1)$$

Udaljenost D (radiusi kružnih lukova  $R_s$ ) u našem slučaju kreću se od 31 do 39 met.

Za D = 30 m. imamo:

$$m_D = \frac{900}{412530} = 0,0022 \text{ m}$$

odnosno  $m_D = \pm 2,2 \text{ mm}$

Za D = 40 m. imamo:

$$m_D = \frac{1600}{412530} = 0,0034 \text{ m}$$

odnosno  $m_D = \pm 3,9 \text{ mm}$

Prema tome tačnost postignuta obelježavanjem na ovaj način, za ovaj slučaj kreće se u granicama 2—4 mm.

Tačnost koja se je postigla određivanjem pomoćnih tačaka na lamelama (vidi sl. 10 — tačka 16') metodom presjecanja kreće se u granicama 1—2 mm. Kod presjecanja mjerenje uglova izvršeno je u jednom girusu sa srednjom griješkom oko  $m_x = \pm 5''$ . Za najnepovoljnije tačke imamo udaljenost  $D_1$  i  $D_2$  ispod 40 met., a ugao presjeka oko  $60^\circ$ . (Vidi sl. 12).

Srednju griješku položaja ovako određene tačke imaćemo po formuli:

$$m_{D1} = \pm \frac{m_x}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \sqrt{D_1^2 + D_2^2} \quad 2)$$

$$m_x = \pm 5'' \quad \text{za } D_1 = D_2 = 40 \text{ m}; \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 120^\circ$$

$$m_{D1} = \frac{5}{0,866 \cdot 206\,265} \cdot \sqrt{3 \cdot 200} = \frac{5}{178500} \cdot 56,6 = \frac{283}{178500} = 0,0016 \text{ m} = 1,6 \text{ mm}$$

Tačnost položaja tačaka određenih polarnom metodom (Vidi tačke 19—19 sl. 10) ako se uzme da su uglovi mjereni sa tačnošću  $\pm 10''$  (kratke dužine), a najveća udaljenosti D = 8 met, i srednja greška mjerene dužine  $m_D = \pm 2 \text{ mm}$ .

$$m_{D2} = \pm \sqrt{(D \cdot \sin \alpha m_x)^2 + m_D^2} = \pm \sqrt{\left(8 \cdot \frac{10}{206265}\right)^2 + 0,002^2} =$$

$$= \pm \sqrt{\left(\frac{80}{206265}\right)^2 + 0,002^2} = \pm \sqrt{0,00039^2 + 0,002^2} =$$

$$= \pm \sqrt{0,000000152 + 0,000004} = \pm \sqrt{0,000004152} = 0,00205 = \pm 2,0 \text{ mm}$$

Prema tome ukupna greška položaja pojedinih tačaka iznosi:

$$m_D = \pm \sqrt{m_{D1}^2 + m_{D2}^2} = \pm \sqrt{1,6^2 + 2,0^2} = \pm \sqrt{2,56 + 4,00} = \pm \sqrt{6,56}$$

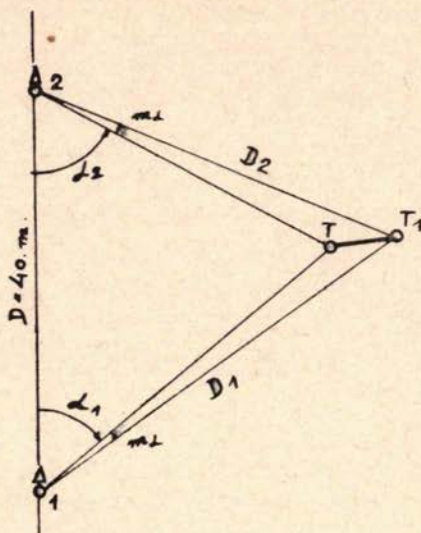
$$m_D = \pm 2,56 \text{ mm}$$

1) Ing. M. Janković: Poligonometrija, str. 53 formula 89

2) Ing. Podpečan A. str. 26 formula 15.



Iz naprijed izvedenog vidi se da srednja greška prilikom obelježavanja tačaka  $m_D = 2,5$  mm.



Sl. 12

Sva mjerenja i obelježavanja na brani Idbar u toku gradjenja izvršena su instrumentom Kern DKM<sub>2</sub>, i bazisnim priborom t. j. horizontalnom bazisnom letvom od 2.00 met, iste firme.

Kako je svrha ovog članka da ukaže, na metode rada pri obelježavanju lučnih brana i sličnih objekata, kao i efikasnost izvršenja ovog zadatka, to se na kraju daje slijedeći

### ZAKLJUČAK

Način obelježavanja tačaka metodom presjecanja kombinovan sa polarnom metodom, upotrebljavan je na izvođenju brane Idbar na pojedinim lamelama od temelja do krune brane, dok je na ostalim lamelama (3, 4 i 5) upotrebljavan od temelja kote 327 do kote 340. Iznad kote 340 pa do preljeva na ovim lamelama konstantne debljine, upotrebljavan je način obelježavanja paralaktičnim uglom i bazisnom letvom, kako je to projektom bilo predviđeno.

Na dijelovima konstantne debljine brane ovaj način je preporučljiv, i njegova primjena je efikasna. U procentima uzevši obelježavanje tačaka lukova presjecanjem, sa primjenom i polarne metode iskolčavanja izvršen je na oko 70% obelježenih tačaka, dok je na preostalim 30% tačaka upotrebljavana metoda paralaktičnih uglova i bazisne letve.

Koja od ovih dviju metoda će se primjeniti prilikom obelježavanja zavisi od mogućnosti vezanih za terenske i druge prilike, kao i od efi-



kasnosti i brzine koja se može postići. U pogledu tačnosti obje metode podjednako zadovoljavaju.

Pisac ovoga članka radio je na objektima HC Jablanica kao geometar u nadzoru u vrijeme izvođenja i montažnih radova u vremenu od 1950—1957 god., te je na osnovu iskustva sa geodetskih radova vršenih na ovim objektima imao prilike da ista primjeni i upotrijebi na izgradnji brane Idbar.

Na osnovu iskustva stečenog na brani Jablanica kao i na ovoj brani Idbar smatram, da su se tražena tačnost i drugi uslovi iz projekta u pogledu prenosa projekta na teren i obelježavanja brane i oporca, mogli postići i bez izgradnje specijalne i glomazne konstrukcije (mjernog stola), za koji su utrošena znatna materijalna sredstva.

Izvjесne podatke za ovaj članak pisac je koristio iz projekta brane Idbar i iz »Saopštenja sa četvrtog savjetovanja stručnjaka Jugoslavije o visokim branama« iz referata od strane projektanta brane Idbar.