

OBELEŽAVANJE TRASE MOSTA PREKO ZALIVA BISTRINE NA JADRANSKOJ MAGISTRALI

Miloš NINKOVIĆ, geom.¹

OPŠTE NAPOMENE

Sistem montažnih konstrukcija betonskih mostova dobiva kod nas sve veću primenu. Naše građevinsko preduzeće »Mostogradnja« izradilo je nekoliko ovakvih objekata na Jadranskoj magistrali. Jedan od najvećih je most preko zaliva Bistrine kod Stona. Ovo je do sada najduži most u krivini koji je kod nas građen. Dužina mu je 486,26 m. Pretežno je u čistoj kružnoj krivini ($R = 350$ m) a jednim svojim krajem u prelaznici oblika klotide. Most ima 15 otvora sa rasponima 31,20 metara mereno po krivini.

Trasa mosta nastavljala se neposredno na trasu magistrale. Početak kružne krivine PK i teme krivine T38 padali su u vodu. Na terenu su bili obeleženi pravci glavnih tangenta sa tačkama KK i KPK prema dubrovačkoj strani, te PPK prema splitskoj strani (sl. 1).

Prvi posao je bio da se proveri skretni ugao u temenu T38. Na tangentama obeležena su dva pomoćna temena T38' i T38''. Skretni ugao proveren je indirektnim merenjem uglova na pomoćnim temenima kao i odstojanja između njih. Uglovi na ovim tačkama opažani su u nekoliko girusa jednosekundnim teodolitom. Dužina T38'—T38'' određena je pomoću baza upravnih na krajevima duži sa približnim razmerom $d/D = 1/10$.

Pošto se skretni ugao na osnovu ovih podataka slagao sa ranije određenim, to se smatralo, da se elementi prelaznice i kružne krivine nisu izmenili, tj. da je projekat mosta baziran na pouzdanim podacima. Sada se moglo preći na određivanje potrebnih elemenata za obeležavanje pojedinih stupova. Uslov za obeležavanje je bio taj da se jednovremeno počne sa izgradnjom obalnih stupova i da rasponi moraju odgovarati projektovanim dužinama, jer su se armirano-betonski nosači, određenih dužina, izrađivali na prostoru gradilišta. Stupovi mosta oslanjali su se na betonske šipove 10 do 22 metra.

¹ M. N. geom. Rogotin — GP Mostogradnja

Desilo se da je teren za prva dva stupa u vodi na oba kraja mosta nepogodan za pobijanje šipova zbog male količine mulja. Trebalo je stoga naći efikasan način za obeležavanje šipova a potom i centre samih stupova. Pokazalo se i ovoga puta da je za obeležavanje najprikladnije koristiti metodu preseka pravca.

RAČUNANJE ELEMENATA OBELEŽAVANJA

Da bi se došlo do željenog preseka pravaca bilo je potrebno da se odrede koordinate tačaka koje predstavljaju centre stupova na krugu, u nekom koordinatnom sistemu. Osim toga da se odrede i koordinate tačaka PK, KK, PPK, KPK, T38, T38' i T38". U tom istom koordinatnom sistemu bilo je potrebno projektovati i trigonometrijsku mrežu sa koje će se presekom pravaca obeležiti projektovana trasa mosta. Prilikom izbora koordinatnog početka nastojalo se da se cela mreža što više približi trasi mosta. Zbog toga je za koordinatni početak uzeta tačka KK (kraj kružne krive), pošto je ona prethodno istaknuta što se preciznije moglo. Početne koordinate uzete su $y = 10000,000$ m, $x = 20000,000$ m a smer x-ose je u pravcu centra kružnog luka. Smer ose y bila je tangenta na krugu u tački KK. Koordinate tačaka na krugu tj. koordinate centra stupova sračunate su u jednom poligonskom vlaku čije su dužine između tačaka (tetive d_n) i prelomni uglovi bili određeni iz projektom datih veličina — dužine luka 31,20 m i pripadajućeg centralnog ugla $\gamma_n = 5^\circ 06' 28''$.

Tako se obrazovao jedan zatvoreni poligonski vlak u kojem su dužine i prelomni uglovi bile projektom date veličine. Naš poligonski »projektovani« vlak je bio: centar kruga O, zatim KKK, stup 16, stup 15... stup 2, PK, O, KK.

Kontrolno računanje koordinata ovih tačaka izvršeno je i pomoću formula za računanje elemenata ortogonalnog iskolčenja tačaka na kružnom luku od tangente:

$$Y_n = R \sin \gamma_n; \quad X_n = R (1 - \cos \gamma_n)$$

gdje je $R = 350$ m, a γ_n odgovarajući centralni ugao u odnosu na početni smer: centar kruga — tačka KK, tj. osu X. Pošto se deo mosta sa upornjakom (stup 1 — splitska strana) nalazi u prelaznici oblika klotoida, to je bilo potrebno izračunati koordinate i tog stupa tj. njegovog početka i osovine ležišta nosača, u istom sistemu kao i ostale stupove. Koordinate stupa 1 bilo je moguće sračunati tek kada su bile određene PPK i T38. Iz elemenata za iskolčenje tačaka na klotoidi od tangente izračunate su sada i koordinate tačaka na obalnom stupu. Kontrola je bila u tome što se razmak stupova 1 i 2 iz koordinata slagao sa veličinom, koju je dao projekt.

U ovom sistemu sračunate su koordinate i ostalih tačaka tj. T38' i T38".

TRIANGULACIONA MREŽA

Triangulacionu mrežu za obeležavanje presekom pravaca trebalo je tako postaviti da se pravci seku pod povoljnim presecima. Razumljivo je da su se koordinate tačaka ove mreže morale odrediti u istom koordinatnom sistemu u kojemu su određene i koordinate tačaka na trasi mosta. Zato je usvojena tačka KK kao jedna tačka ove triangulacije.

Zahvaljujući povoljnom položaju jednog malog otoka u blizini obale sa splitske strane odabrala se na otočiću 17, pa su se na taj način pomoću ove tačke i tačke KK mogli odrediti povoljni uglovi preseka pravaca na sve stupove. Osim ovih tačaka na terenu su izrekognoscirane još tačke 18, 19 i 20. Prema tome u celoj mreži postavljeno je ukupno 5 tačaka. Za obeležavanje koristile su se tačke KK i 17, dok za stupove 1, 2 i 3 još i kontrolno tačka 20.

Za baze u ovoj triangulacionoj mreži odabrane su strane 19—20, te 18-KK. Kako je teren za razvijanje baza ovde vrlo nepovoljan, one su morale biti prilično kratke. Zato je bilo neophodno da se izmere što preciznije. Za merenje baze između tačaka 19 i 20, čija je dužina 95 m, morao se teren minirati na par mesta. Zatim su duž cele baze postavljene daske između preloma i time se obrazovao jedan radni most. Most je solidno učvršćen, a nagibi između preloma određivani su teodolitom. Svrha je ovoga bila da se izbegnu čim više uticaji grešaka usled ulegnuća pantljike. Na krajevima preloma postavljeni su bili kartoni stegnuti betonom u steni. Na njima su se vršila čitanja ukupno je izvršeno osam merenja. Merenje je obavljeno novom pantljikom nemačke proizvodnje širine 10 mm, a debljine 5 mm. Zatezanje je mereno pomoću dva dinamometra silom od 10 kg. Uzeta je u obzir popravka za redukciju na horizont i za promenu dužine pantljike usled temperaturnih razlika. Srednja kvadratna greška pojedinog merenja bila je $m_1 = \pm 3,03$ m/m, a srednja kvadratna greška aritmetičke sredine $M_1 = \pm 1,07$ m/m, dok je srednja relativna greška merenja iznosila 1 : 90000.

Druga baza KK — 18 merena je optičkim putem bazisnom letvom. Korištena je Cajsova bazisna letva od 2 m i jednosekundni teodolit Th olo. Dužina od 118,9777 m podeljena je bila na pet delova, pa je svaki deo meren paralaktičkim metodom. Paralaktički uglovi mereni su u 12 ponavljanja (po šest u oba položaja durbina). Nakon obrazovanja uglovnih vrednosti računane su srednje greške merenja uglova. One se kreću od 0,3"—0,6" za pojedine vrednosti uglova.

Triangulaciona mreža izravnata je približnim metodom. Obrazovana su bila tri geodetska četverougla. Prethodno je proverena tačnost merenja uglova na osnovu srednjih grešaka pojedinog girusa i srednje greške aritmetičke sredine po formulama

$$m_u = \pm \sqrt{\frac{2 [vv]}{(s-1)(r-1)}}; \quad M_u = + \frac{m_u}{\sqrt{S}}$$

Dobiveni su slijedeći rezultati

$$M_u = \pm 1",5 \text{ do } \pm 3",1, \quad M_u = \pm 0,5 \text{ do } 1",1$$

Prosečna greška zatvaranja trougla bila je 1",5. Dužina kontrolne baze 19—20 razlikuje se od direktno merene za 4 mm. Maksimalna razlika pojedinih dužina iz četverougla iznosi 13 mm.

Triangulaciona mreža povezana je sa projektovanim vlakom na taj način što je na zajedničkoj tački KK uzeta orijentacija na tačku T38'. Ako pretpostavimo da međusobni odnos tačaka T38' — KK nije, recimo određen sa dovoljnom tačnošću, onda bi se desilo da se za tu veličinu ceo »projektovani vlak« translatorno pomeri po tangenti. Međutim, najvažniji je odnos između stupova mosta, a ta neznatna odstupanja

celog mosta ne bi se odrazila na trasu puta. Koordinate tačka lokalne trig. mreže izračunate su u poligonskom vlaku u kojemu su odstupanja bila $f\beta = 0''{,}2$, $f_y = 0{,}006$ m, $f_x = 0{,}003$ m.

ODREĐIVANJE POLOŽAJA VERTIKALNIH ŠIPOVA STUPOVA MOSTA

Svim radovima na vodi prethodilo je postavljanje šipova za stupove. Kod mostova u pravcu, pobijanje šipova ne predstavlja naročiti problem. Međutim, na ovom mostu se morao naći efikasan način postavljanja šipova (dim. $0{,}40 \times 0{,}40 \times 10 - 22$ m) za svaki stup. Jedini izlaz je bio da se na isti način kao i za osovinu mosta, sračunaju pravci preseka za svaki vertikalni šip. Znači, bilo je potrebno odrediti koordinate vertikalnih šipova za trinaest baterija, zatim sračunati za svaki šip po dva pravca da bi se presekom pravaca dobio njihov položaj koji je bio projektom predviđen.



Sl. 2 — Postavljanje šipova za stupove

Vertikalni šipovi su obrazovali geometrijsku sliku pravougaonika dimenzija $1{,}5 \times 1{,}20$ met. Međutim, centar stupa se nalazi u dijagonalnom preseku a osovina kolovoza je ekcentrična za 17,5 cm prema centru kruga. U ovom slučaju presek dijagonala je osovina konstrukcije a ekcentrična tačka je tačka našeg »projektovanog vlaka«. Ovo je nastalo zbog toga što su nosači pravi, a kolovoz dolazi u kružnoj krivini.

Iz skice se vidi raspored četiri vertikalna šipa, kao i ostali elementi potrebni za računanje koordinata šipa. Koordinate su računane, također, u T.O. 19 i to za svaki šip pojedinačno. Kontrola je bila ta, što se dužina sračunata iz koordinata i dijagonala pravougaonika morala slagati. Osim toga, za svaki stup su grafički u razmeri 1 : 10 na milimetarskoj hartiji koordinatama naneti: centar stupa i četiri vertikalna šipa, tako da nije bilo zabune oko položaja šipova. Pored toga uvedena je jedno-obraznost u obeležavanju šipova.

Sa pripremljenim pravcima, koji su dobijeni iz razlike direkcionih uglova obeleženi su pomoću dva teodolita sa KK i 17 šipovi za 13 stupova. Četrnaesti stup leži na betonskim bunarima koji su određeni na isti način.

Šipovi su se pobijali sa ploveće dizalice. Najprije bi se ovi šipovi utovarili na veliku maunu, velikom dizalicom bi se podigao šip i postavio u vertikalni položaj, zatim bi se dizalica postavila približno na mesto budućeg stupa i pomoću instrumenata postavila u definitivni položaj. Tek tada bi se šip spuštao u vodu i nakon proveravanja njegovog položaja nabijao u mulj do stene. Na pobijena četiri vertikalna šipa, koji su prethodno međusobno povezani, postavljala se čvrsta platforma na kojoj je obeležena osovina mosta i pravo mesto za sva četiri šipa. Tako bi se dobila osovina stupa orijentisana prema centru kruga, koja je služila za pobijane kosih šipova.

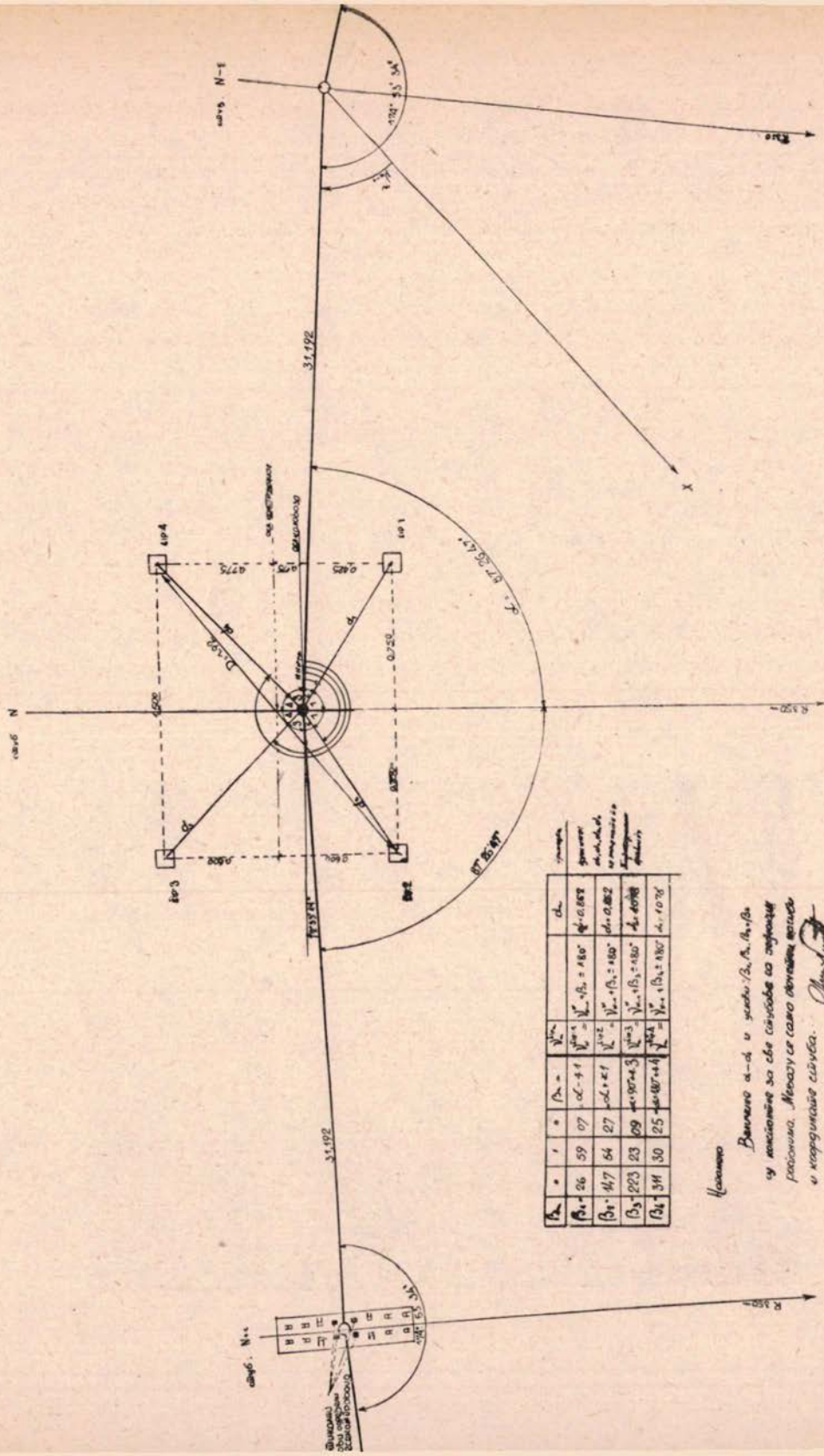
Osovina mosta morala se obeležavati više puta kao i osovina stupova. Rasponi stupova kontrolisani su pomoću bazisne letve sa po tri repeticije u oba položaja durbina. Nakon kontrolisanja prosečno odstupanje bilo je 4—5 mm. Ukupno odstupanje posle algebarskog zbira plus—minus grešaka pojedinih raspona mosta, iznosila je svega 8 mm, što praktično znači da je mogla biti nekoliko puta veća. Prelomni ugao se razlikovao najviše do 1,5 što na 31,2 metara ne predstavlja značajnu grešku. Ona je, uostalom rezultat grešaka merenja, računanja kao i isticanja pravaca za koje se nije imalo uvek povoljno vreme.

Pošto je trebalo na ležišnim gredama obeležiti i mesta gde dolaze nosači, morao se istaći i pravac prema centru kruga. Potrebni elementi izračunati su iz koordinata tačaka kruga i koordinata centra. Za orijentaciju poslužila je tačka 19 — Primer za stup br. 8

$$\begin{array}{l} 19 \\ v \\ \text{Stup 8} \end{array} = 11^{\circ}24'18''$$

$$\begin{array}{l} 19 \\ \alpha \\ \text{Stup 8} \end{array} = \begin{array}{l} v \\ \text{St 8} \end{array} - \begin{array}{l} '' \\ 0'' \\ v \\ \text{St 8} \end{array} = 62^{\circ}46'16''$$

$$\begin{array}{l} '' \\ 0'' \\ v \\ \text{Stup 8} \end{array} = 308^{\circ}38'02''$$



β_n	i	ρ_n	$\sqrt{\rho_n^2}$	d_n
$\beta_1 = 26$	59	$\alpha - 41$	$\sqrt{\rho_1^2} = \sqrt{\rho_2^2} = 180$	$d_1 = 0.682$
$\beta_2 = 41.7$	64	$\alpha - 41$	$\sqrt{\rho_2^2} = \sqrt{\rho_3^2} = 180$	$d_2 = 0.682$
$\beta_3 = 223$	23	$\alpha - 104 + 3$	$\sqrt{\rho_3^2} = \sqrt{\rho_4^2} = 180$	$d_3 = 0.682$
$\beta_4 = 341$	30	$\alpha - 104 + 4$	$\sqrt{\rho_4^2} = \sqrt{\rho_5^2} = 180$	$d_4 = 0.682$

Примечание
 Размеры a — d в yards $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$
 и измерения z в yards с округлением
 пополам. Механизм саженой системы
 в килограммах веса.

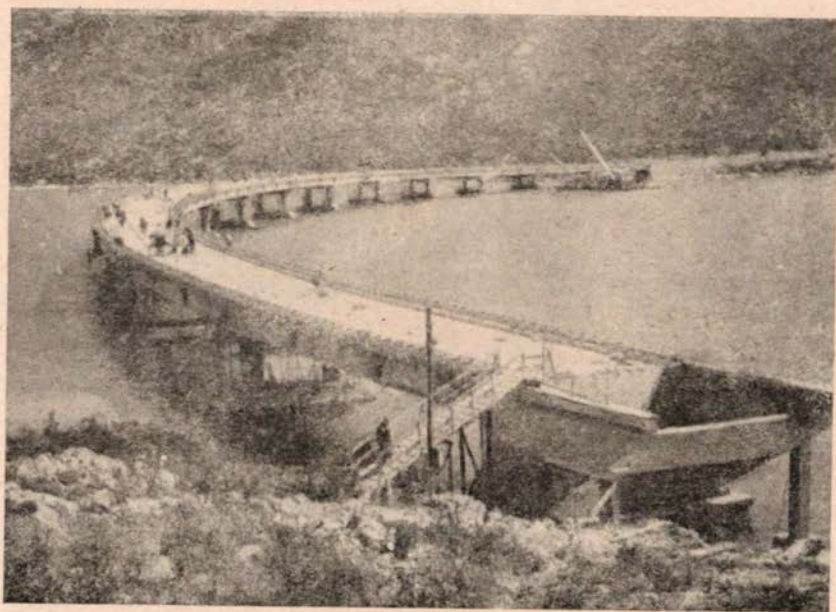
SI. 3 — Skica rasporeda vertikalnih šipova

Kružna krivina obeležena je detaljno, nakon definitivnog postavljanja nosača, polarnom metodom, razume se posle obeležavanja centara stupova. Krivina je obeležena na svaka dva metra, zbog toga što su ivičnjaci morali biti propisto postavljeni. Osovine ivičnjaka su date podizanjem upravnih na osovinu mosta pomoću prizme, tako da je postignuta lepa krivina.

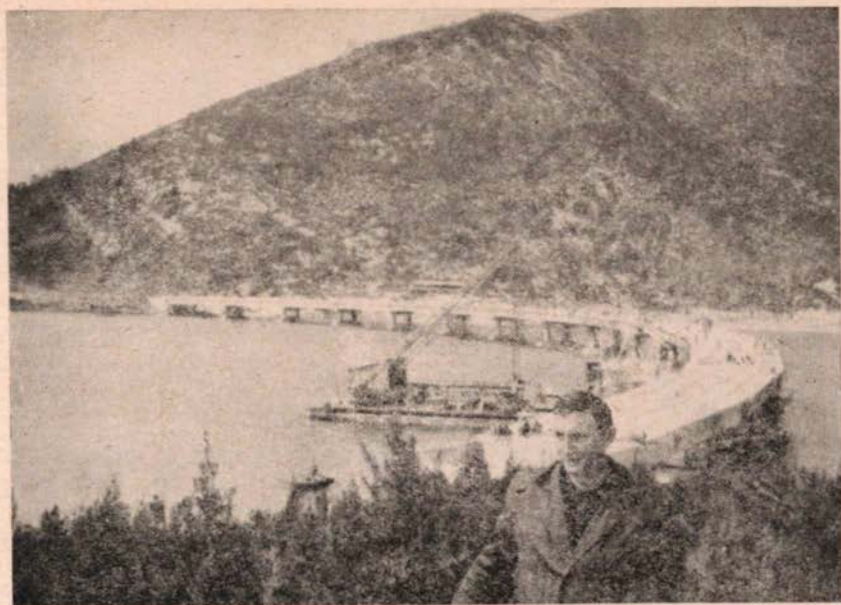
Što se tiče nivelete mosta tu nije bilo skoro nikakvih problema. Ceo most prelazi iz kontinuitiranog pada (1%) u vertikalnu kružnu krivinu $R = 10.000$ met.

Na kraju iznosim i to, da je geodetska služba odigrala jednu od najodgovornijih uloga. Mislim da neće biti preterano kad ovo kažem pogotovu ako se ima u vidu da je ceo objekat završen za svega godinu dana. To je, uostalom, i bio jedini objekat na Jadranskoj magistrali koji je završen pre roka. Taj uspeh je ravan podvigu svih graditelja radnika G. P. »MOSTOGRADNJA«.

Što se tiče samog rešenja geodetskog zadatka na ovom objektu, verujem da je bilo izvesnih propusta, ali sama činjenica da je ceo zadatak i sva odgovornost pala na jednog čoveka sa srednjom stručnom spremom, govori u prilog svega do sada iznetog, a ostvaren rezultat na terenu jeste svakako uspeh za sebe.



Sl. 4 — Pogled na most sa splitske strane



Sl. 5 — Pogled na most sa dubrovačke strane

Umoljavamo pretplatnike
da podmire dužnu pretplatu

Uredništvo