

**Šerif DUNICA, Aleksandar BOJOVIĆ**

## **PROJEKT DRUMSKOG MOSTA SA KOSIM KABLOVIMA U PLOCKU, POLJSKA**

*THE DESIGN OF THE CABLE-STAYED HIGHWAY BRIDGE IN PLOCK,  
POLAND*

**Prof. dr Šerif Dunica, dipl. inž. grad, redovni  
profesor Gradevinskog fakulteta Univerziteta u  
Beogradu.**

Roden 15.03.1949. u Ohridu, R. Makedonija. Diplomirao 1970. na Gradevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, odsek za konstrukcije. Magistrirao 1973. i doktorirao 1980. takođe na Gradevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Radi na Gradevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu na Katedri za tehničku mehaniku i teoriju konstrukcija – predmet Otpornost materijala. Autor je više knjiga, naučnih i stručnih radova i kompjuterskih programa. Učestvovao je u projektovanju brojnih inženjerskih objekata kako u zemlji tako i u inostranstvu – brana, mostova, sportskih hala, industrijskih hala, antenskih stubova, rashladnih tornjeva, vojnih objekata, rezervoara, kao i različitih objekata iz oblasti visokogradnje.

**Aleksandar Bojović, dipl. inž. grad, tehnički  
direktor firme Delfin Inženjering, d.o.o., Beograd.**

Roden 22.11.1948. u Beogradu. Diplomirao januara 1975. na Gradevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, odsek za konstrukcije - smer za metalne konstrukcije. Radi na projektovanju čeličnih konstrukcija u zemlji i inostranstvu – mostova, sportskih hala, industrijskih hala, antenskih stubova, cevovoda itd. Autor jedne stručne knjige, tri prevoda stručne literature sa nemačkog, pet jugoslovenskih standarda i više stručnih članaka u domaćoj literaturi.

### *Rezime*

Predmet rada je prikaz konstruktorskog rešenja i proračuna konstrukcije u Glavnom i Izvođačkom projektu Drumskog mosta sa kosim kablovima u Plocku, Poljska. Ovo je najveći projektovani čelični most u istoriji srpskog konstrukterstva i najveći izgrađeni most u Poljskoj. Tehničko rešenje Mosta je dobilo prvu nagradu na Međunarodnom konkursu 1997. Projekti su urađeni 1998-1999. Glavna mostovska konstrukcija je čelična, sa dva pilona, 7 nivoa kablova u srednjoj ravni i najvećim rasponom od 375 m. U radu se daju pojedinosti konstruisanja i proračuna, a predstavlja se i kronologija projektovanja kao i projektantski tim.

### *Summary*

The paper presents the structural concept and analysis in Main design and Detailed design of Cable-stayed highway bridge in Plock, Poland. This is the largest steel bridge ever designed in the history of Serbian structural engineering and the largest bridge built in Poland. The technical solution of the Bridge gained the first prize on the International competition in 1997. The design is made in 1998-1999. The main bridge structure is made of steel, with two pylons, 7 levels of cables in the middle plane and the span of 375 m. Some details of designing and analysis are given in the paper, including the design chronology and design team.

## 1. Uvod

Drumski most u Plocku je najveći ikad projektovani čelični most u istoriji našeg konstrukterstva, takođe i najveći izgrađeni most u Poljskoj. Ovim radom se daje kratka hronologija projektovanja, prikaz osnovnih tehničkih karakteristika Mosta – onako kako je projektovan i projektantski tim koji je radio na njegovoj realizaciji.

## 2. Hronologija projektovanja

Razvoj projekta tekao je sledećom hronologijom:

- Juli 1997: Izrada idejnog konkursnog rešenja za most u Plocku: Autori N. Hajdin i B. Stipanić, proračun konstrukcije Š. Dunica;
- Septembar 1997: Drugo mesto posle prvog kruga Konkursa;
- Septembar 1997 – novembar 1997: izrada Konkursnog projekta za drugi krug: B. Stipanić, Š. Dunica, A. Bojović, M. Lazović, sa timom saradnika;
- Decembar 1997: pobeda na Konkursu;
- Februar 1998 – mart 1998: dopune Konkursnog projekta kao priprema za Projektni zadatak;
- Novembar 1998 – januar 1999: izrada Glavnog projekta;
- Mart 1999 – decembar 1999: izrada Izvođačkog projekta, Tendera za licitaciju, Tehnologije izrade i montaže, Projekta održavanja; prekid rada u aprilu zbog poznatih ratnih dešavanja i nastavak maja do decembra.

## 3. Opšte o Mostu i Projektu

### 3.1 Projektni zadatak

Elementi Projektnog zadatka proizašli su iz uslova prethodnog Konkursa i odlika pobjedničkog projektnog rešenja:

- Izrada projekta prema poljskim normama, gde ove nedostaju – prema evropskim normama ili DIN-u; na poljskom jeziku;
- Lokacija Mosta: na putu Plock-Kutno, glavnim delom preko reke Visle;
- Saobraćaj drumski: 2x2 saobraćajne trake + dve pešačke staze;
- Poseban uslov: dva teška vozila  $Q = 800 \text{ kN}$  umesto jednog po računskoj šemi saobraćajnog opterećenja klase A, prema PN-85/S-10030.

## 3.2 Osnovne tehničke karakteristike Mosta

Osnovne tehničke karakteristike Mosta su sledeće:

- Glavna konstrukcija (preko Visle) + prilazne konstrukcije na levoj obali  $= 515 + 585 = 1200 \text{ m}$ , ili  $33000 \text{ m}^2$  površine Mosta;
- Glavna mostovska konstrukcija = most sistema sa kosim kablovima, čelična konstrukcija, dva pilona i sedam nivoa kablova u srednjoj ravni mosta.

Prema Projektnom zadatku Most u Plocku je drumski most, ukupne dužine 1200 m, sa kolovoznim površinama za 2x2 saobraćajne trake i dve pešačke staze. Osnovne karakteristike su date u tabeli 1.

**Tabela 1:** Osnovne tehničke karakteristike Mosta

Karakteristika	Mera
Glavna konstrukcija: Čelična, dva pilona, kablovi u jednoj ravni, 7 nivoa kablova; 1 kabl = 2 užeta.	$L = 60+60+375+60+60 \text{ m}$ $= 515 \text{ m}$ $B = 27,50 \text{ m}$ $H = 63,75 \text{ m}$
Prilazne konstrukcije: Spregnute čelik-beton, dva kontinualna nosača. Greda iz dva povezana sanduka.	$L = 2x(5x58,5) =$ $= 585 \text{ m}$ $B = 27,50 \text{ m}$

## 4. Konstruktivno oblikovanje

Generalno, konstruktivno oblikovanje je urađeno najpre prema zahtevima Poljskih normi [1] i [2], a posebno prema daleko modernijoj Evropskoj normi [8], svetskoj tehničkoj praksi prikazanoj u stručnoj literaturi – gde treba posebno izdvojiti svetska istraživanja u oblasti ortotropnih ploča (Sedlaček [11], [14] i Wolchuk npr.), kao i, razumljivo, lična stručna iskustva projektanata. Ukratko, konstruisanje mosta vođeno je razmišljanjima prema tekstu koji sledi.

### 4.1 Ortotropna ploča

Ortotropna ploča mosta se sastoji iz sistema međusobno upravnih podužnih i poprečnih nosača. Određeni razmak poprečnih nosača od 3750 mm = raspon podužnih nosača, uz potrebnu modularnu podelu konstrukcije grede (da bi se postigli i drugi povoljni efekti, razmaci kablova na primer), pokazao se kao optimalan. Smanjenje razmaka poprečnih nosača vodi neznatnom smanjenju poprečnog preseka podužnih nosača, ali i povećanju broja poprečnih nosača i povećanju

ukupnog obima radova izrade konstrukcije, prema tome i troškova.

Druga vrsta analize bila je analiza poprečnog preseka podužnih nosača.

Odlučujući uticaji na dimenzije podužnih nosača su bili sledeći:

- Veliki pritisak točkova prema [3] vozila K:  $4 \times 200 = 8 \times 100 \text{ kN} = 800 \text{ kN}$  i  $\varphi F = 1,325 \times 100 = 132,5 \text{ kN}$ , (što je značajno veće opterećenje od opterećenja prema npr ENV 1991-3: 1995 ili DIN 1072: 1985), koji izaziva značajna lokalna savijanja;
- Efekti zamora materijala, koji mogu bitno da smanje nosivost poprečnih nosača ako opseg napona  $\Delta\sigma$  pređe vrednost koju kategorija zamora podužnog nosača  $\Delta\sigma_c$  (prema [8]) može da podnese;
- Lokalni ugibi podužnih nosača zbog očuvanja asfaltnog zastora, (v. [14]);
- Ograničenje visine rebra na  $h \leq 300 \text{ mm}$ , (što je uobičajeno u praksi) i debljine rebra na  $t \leq 8 \text{ mm}$  (zbog olakšanja izrade) – slika 3.

Proračun otpornosti na zamor urađen je prema Evropskoj normi [8] pošto Poljske norme ne definišu opterećenje koje izaziva opseg napona  $\Delta\sigma$ . Odgovarajuće opterećenje za proveru zamora je bilo model zamor opterećenja 3 prema ENV 1991-3: 1995. Ostali uticajni koeficijenti u proračunu zamora izračunati su prema prepostavljenim vrednostima koje definišu intenzitet saobraćaja na mostu.

Predmet analiza je bila i poprečna raspodela opterećenja pritiska točka na podužne nosače ortotropne ploče, vodeći računa o merama površine naleganja točka ( $L \times B = 200 \times 600 \text{ mm}$ ) i debljini asfalta kolovoza ( $d = 50 - 70 \text{ mm}$ ), što je nadalje poslužilo za proračun sila u presecima podužnih nosača.

Podužni nosači ortotropne ploče izloženi su osim lokalnim naponima i naponima od delovanja kao dela gornjeg pojasa glavnog nosača – grede.

Iz prethodnih analiza opterećenja, sila i napona određen je poprečni presek podužnog nosača kao optimalan, sa najpovoljnijim odnosom  $W/A$ :  $h \times b_{\text{sup}} \times b_{\text{inf}} \times t = 300 \times 300 \times 160 \times 8 \text{ mm}$ . Iz literature poznati U-preseci firme Krupp npr, nisu mogli biti iskorišćeni zbog nedovoljne nosivosti. Veza podužnih nosača i kolovoznog lima projektovana je sa punim provarom odgovarajućeg V-zavarenog šava (v. sliku 3).

## 4.2 Greda mosta

Greda mosta je (v. slike 2, 5 i 7) sandučasti nosač, trapeznog poprečnog preseka, sa 4 rebra i sa obostranim konzolnim prepustima za nošenje kolovoza i pešačko-biciklističkih staza.

Presek grede ukrućen je dijafragmama na svakih 3750 mm. Dijafragme čine ramovi T-preseka zavareni za sva četiri vertikalna lima i po dva rešetkasta štapa u spoljnim celijama sanduka grede.

Konkretni oblik preseka, širine gornjeg i donjeg pojasa i visina sanduka, proizšao je posle konstruktivnih usaglašavanja sa pilonom, kablovima i osloničkim zategama, i uravnotežavanja više računskih veličina.

Širina gornjeg pojasa je bila praktično zadata saobraćajnim uslovima mosta. Dimenzije gornjeg pojasa su takođe praktično bile poznate posle analiza ortotropne ploče. Time je preostalo određivanje donjeg pojasa i visine grede.

Donji pojas i visina grede su, dakle, određeni iz sledećih razmatranja:

- Proračuna sadejstvujućih (efektivnih) širina;
- Mere zakošenja spoljnih vertikalnih limova zbog poboljšanja aerodinamičkih karakteristika preseka, (smanjenje aerodinamičkog koeficijenta, a odатle i opterećenja vetrom);
- Dovoljne torzionalne krutosti sanduka grede zbog aeroelastične stabilnosti;
- Dovoljne torzionalne krutosti sanduka grede zbog graničnih poprečnih nagiba kolovoza pri nesimetričnim opterećenjima vozilima;
- Postizanja optimalnog položaja težišta preseka obzirom na sabiranje napona gornjeg pojasa kao ortotropne ploče (lokalan) sa naponima od delovanja kao glavnog nosača (global); ovo važi pogotovo kod analize zamora otrotropne ploče;
- Proračuna uporednih napona na mestima osloničkih dijafragmi (naponi u podužnom i poprečnom pravcu);
- Proračuna uporednih napona na mestima veze nosača kablova za unutrašnje vertikalne limove grede;
- Proračuna uporednih napona na mestima veze grede i pilona;
- Proračuna napona pri različitim slučajima ekstremnih vrednosti sila u presecima (max/min): max/min N, max/min M;
- Proračuna lokalnih stabilnosti donjeg pojasa, vertikalnih limova i rebara za ukrućenje;
- Proračuna ugiba i oscilacija savijanja i torzije, zbog ispunjenja uslova upotrebljivosti konstrukcije.

Složeno stanje napona u vertikalnim limovima grede na mestima unošenja sila iz nosača kablova i osloničkih zatega posebno je analizirano jednostavnijim, a zatim i složenijim proračunom primenom metoda konačnih elemenata.

Iz prethodnih razmatranja i proračuna, varirajući debljine limova gornjeg i donjeg pojasa i

spoljnijih i unutrašnjih vertikalnih limova, dobijeno je 16 tipova preseka grede.

Podužno kretanje kroz gredu ostvaruje se kroz sve tri čelije sanduka, celom dužinom mosta. Na mestima punih dijafragmi prolazi se kroz kružne otvore u dijafragmama.

Poprečno kretanje kroz gredu ostvaruje se kroz otvore u unutrašnjim vertikalnim limovima sanduka.

Do mesta sa nosačima kablova se dolazi kretanjem kroz srednju čeliju sanduka, sa jedne i druge strane nosača kablova (ka levoj ili desnoj obali).

#### 4.3 Piloni

Piloni (slika 4) su sandučastog pravougaonog poprečnog preseka, dimenzija preseka  $H \times B = (3750 \text{ do } 3125) \times 2250 \text{ mm}$ , debljina limova  $t = 30, 35, 45 \text{ i } 50 \text{ mm}$ , visine  $63750 \text{ mm}$  iznad grede, ne računajući dodatnih  $5000 \text{ mm}$  visine dekorativne konstrukcije oblika "W" (slika 1).

Sanduk pilona ukrućen je rebrima za ukrućenje preseka "T" u vertikalnim ravnima i dijafragmama u horizontalnim ravnima, na svakih  $2000 \text{ mm}$  odnosno  $4250 \text{ mm}$  po visini pilona.

Dijafragme pilona imaju otvore za prolaz, koji naizmenično menjaju svoju poziciju (levo-desno), tokom penjanja kroz pylon.

Na mestima ankerovanja kablova raspoređeno je  $7 \times 3$  nosača kablova na svakoj od strana pilona. Izmedju spoljnih ivica nosača kablova na dva naspramna zida ostavljen je prostor širine  $600 \text{ mm}$  za prolaz ugrađenim penjalicama.

U pylon se ulazi iz grede kroz otvor na gornjem pojasu grede. Na vrhu pilona se kroz odgovarajući otvor ulazi u dekorativnu konstrukciju oblika "W".

Spoljne dimenzije pilona proistekle su iz:

- Razmatranja postizanja opštег povoljnog izgleda mosta;
- Razmatranja funkcionalnosti unutrašnjosti pilona: mogućnosti izrade, smeštaja nosača kablova, mogućnosti kretanja kroz pylon;
- Proračuna globalne i lokalne stabilnosti, posebno globalne stabilnosti u poprečnom pravcu (horizontalno upravno na osu mosta).

Posebna pažnja je posvećena analizi složenog stanja napona u limovima pilona na mestima unošenja sila iz nosača kablova: približnim proračunom i složenijim proračunom primenom metoda konačnih elemenata.

Sanduk pilona uformljen je po Projektu sučeonim zavarivanjem vertikalnih limova i pojaseva – slika 4. Zavareni montažni nastavci su takođe sučevani šavovi sa punim provarom.

#### 4.4 Zatege sa čepovima

Zatege sa čepovima su limeni nosači – okasti štapovi koji primaju zatežuće reakcije oslonaca glavnog nosača. Zatege u krajnjim obalnim stubovima primaju osim toga i reakcije oslonaca prilazne konstrukcije, pa u odgovarajućoj kombinaciji opterećenja mogu biti i pritisnute. Zbog toga su zatege u krajnjim stubovima spojene limovima i uformljene kao složeni štapovi.

Svaka od zatega konstruisana je iz jednog lima, bez lokalnih ojačanja, prema zahtevima ENV 1993-2: 1997.

Čepovi  $\phi 500 \text{ mm}$  su izrađeni od čelika koji odgovara kvalitetu 5.6, PN-82/M-82054/3.

#### 4.5 Ankerne konstrukcije

Ankerne konstrukcije konstruisane su kao limene zavarene konstrukcije ubetonirane u stubove. Delovi konstrukcije u betonu i izvan betona spojeni su montažnim prednapregnutim zavrtnjima klase 10.9. Debljine limova su  $t = 20, 25, 30, 40 \text{ i } 50 \text{ mm}$ .

Pri silama zatezanja iz zatega sa kojima su spojene, ankerne konstrukcije se odupiru o okolnu masu betona ostvarujući na taj način ankerovanje. Pri zakošenju zatega, naginjanju u pravcu ose mosta, gornji delovi ankernih konstrukcija bočno pritiskuju okolni beton, prenoseći na taj način nastale horizontalne sile.

#### 4.6 Kablovi

Kablovi – kose zatege su projektovani kao skup po dva užeta u vertikalnoj ravni, na svakom od sedam nivoa kablova (v. slike 1 i 6). Ovakvim rasporedom kablova izbegavaju se negativni efekti oscilacija zavetrenih kablova (u slučaju rasporeda po horizontali) zbog vazdušnih strujanja od vrtložnog traga navetrenih kablova.

Usvojeni modul elastičnosti kablova, (obzirom da je isporučilac kablova postao poznat tek posle licitacije, tj. posle završetka Projekta) bio je  $E = 195,0 \text{ GPa}$ . Tangentni modul elastičnosti je sračunat prema ENV 1993-2: 1997, [8].

### 5. Proračun konstrukcije

Proračun konstrukcije mosta urađen je na osnovu poljskih normi i evropskih normi iz t. 6, konstruktorskih rešenja pri oblikovanju konstrukcije, karakteristika čeličnog materijala i prepostavljenih karakteristika kablova.

## 5.1 Opterećenja

Opterećenja mosta sračunata su prema poljskim i evropskim normama [3], [4], [6] i [7]. Koncept opterećenja [3] je prema graničnim stanjima – sa karakterističnim vrednostima pojedinačnih opterećenja, odgovarajućim parcijalnim faktorima i kombinacijama opterećenja za stanja granične nosivosti i granične upotrebljivosti.:

- Težina konstrukcije –  $g_1 = 95\text{--}125 \text{ kN/m}$ ;
- Stalan teret –  $g_2 = 52\text{--}62 \text{ kN/m}$ ;
- Pomeranje oslonaca –  $v_{\text{supp}} = 5; 5; 30 \text{ mm}$ ;
- Saobr. opter. – vozilo K =  $4 \times 200 = 800 \text{ kN}$ <sup>1)</sup>;
- Saobr. opter. – vozila =  $4,00 \text{ kN/m}^2$ ;
- Saobr. opter. – vozilo S =  $60+120+120=300 \text{ kN}$ ;
- Saobr. opt. – pešaci =  $q_t = 2,50 \text{ kN/m}^2$ ;
- Saobr. opter. – vozilo Z =  $4 \times 120 = 480 \text{ kN}$ <sup>2)</sup>;
- Sile kočenja i pokretanja vozila –  $F_h = 520 \text{ kN}$ ;
- Temperat. promene kons. –  $t = -35^\circ\text{C}; +45^\circ\text{C}$ ;
- Temperat. promene kablova –  $t = \pm 50^\circ\text{C}$ <sup>3)</sup>;
- Temperat. razlike konstr. –  $\Delta t = 15^\circ\text{C}$ ;
- Vetur –  $w = 1,25; 2,50 \text{ kN/m}^2$ <sup>3)</sup>;
- Bočni udari na zaštitne ograde –  $F_b=35; 100 \text{ kN}$ ;
- Havarija ili zameni kablova –  $F_t$ .

Pregled parcijalnih faktora opterećenja za stanje granične nosivosti dat je u tabeli 2.

**Tabela 2:** Pregled parcijalnih faktora opterećenja  $\gamma_f$

Opterećenje	Parcijalni faktor $\gamma_f$ za kombinaciju opterećenja		
	P	PD	PW
$g_1$	1,30	1,30	1,30
$F_p$	1,30	1,30	1,30
$g_2$	1,50	1,50	1,50
$v_{\text{supp}}$	1,30	1,20	1,10
K	1,50	1,25	1,15
$q$	1,50	1,25	1,15
S	1,50	1,25	1,15
$q_t$	1,30	1,20	1,10
Z	1,50	1,25	1,15
$F_h$	1,30	1,20	1,10
$t$	1,30	1,20	1,10
$\Delta t$	1,30	1,20	1,10
w	1,30	1,20	1,10
$F_b$	1,30	-	-
$F_t$	1,05	1,05	1,05

- 1) Normom [3] predviđeno je jedno vozilo K; Projektnim zadatkom, međutim – dva.
- 2) Prema ENV 1991-3: 1995, [7].
- 3) Urađen je i detaljan proračun zasnovan na dinamičkim i aerodinamičkim osobinama konstrukcije prema [4], [6] i [9].

## 5.2 Statički proračun konstrukcije

Statički proračun konstrukcije urađen je pomoću nekoliko računskih modela:

- Prostornog modela ortotropne ploče sa dijafragmama sanduka grede - za iznalaženje sila u presecima od saobraćajnih opterećenja na kolovozu mosta;
- Globalnog prostornog linijskog modela za sračunavanje ekstremnih grupa sila u presecima – max/min N, max/min Q, max/min M i max/min  $M_t$ , sa odgovarajućim vrednostima ostalih sila u presecima; čvorovi sistema su se poklapali sa položajem poprečnih nosača grede;
- Prostornog 3D-modela mosta u celini zbog ispitivanja tokova normalnih napona pojaseva, odnosno provere pretpostavki o sadejstvujućim širinama;
- Prostornih 3D-modela složenih delova čelične konstrukcije na mestima sa izrazitim superpozicijama različitih napona: mesta ankerovanja kablova u gredi i pilonima, veze osloničkih zatega sa unutrašnjim vertikalnim limovima u osama 2 i 5 i okastim štapovima.

## 5.3 Dinamički proračun konstrukcije

Dinamički proračun konstrukcije sproveden je modalnim proračunom na globalnom prostornom linijskom sistemu sa raspodeljenim računskim masama konstrukcije  $g_1$  i stavnog tereta  $g_2$ . Sračunate su fleksione i torziona frekvencije i odgovarajuće forme oscilacija.

## 5.4 Proračun globalne stabilnosti

Proračun globalne stabilnosti mostovske konstrukcije urađen je uzimajući u obzir imperfekcije pilona u poprečnom pravcu. Pri tome su razmatrana tri slučaja imperfekcije pilona.

## 5.5 Proračuni napona i lokalnih stabilnosti

Proračuni napona i lokalnih stabilnosti konstruktivnih delova (na centrični i ekscentrični pritisak i izbočavanje), sprovedeni su prema merodavnim poljskim normama [1] i [2], za merodavne kombinacije opterećenja stanja granične nosivosti (v. tabelu 2).

## 5.6 Proračun montaže

Za sve faze montaže mosta sproveden je proračun deformacija i sila u presecima grede, pilona i kabla, kao i kontrola napona i lokalnih stabilnosti konstruktivnih delova za merodavne

kombinacije opterećenja. Proračun obuhvata i određivanje inicijalnih sila pri montaži kablova.

## 5.7 Izvod najvažnijih rezultata proračuna

**Tabela 3:** Rezultati proračuna konstrukcije

Proračun	Rezultat
Donji pojas	Čelik 3W: $f_d = 215,0 \text{ N/mm}^2$ abs min $\sigma_{inf} = -187,7 \text{ N/mm}^2$ Čelik 18G2A: $f_d = 305,0 \text{ N/mm}^2$ abs min $\sigma_{inf} = -263,7 \text{ N/mm}^2$
Gornji pojas. Trapezna rebra Lokalni+Globalni naponi	Čelik 18G2A: $f_d = 305,0 \text{ N/mm}^2$ $\Sigma(\max \sigma_{sup}) = +139,4 \text{ N/mm}^2$ $\Sigma(\min \sigma_{sup}) = -204,3 \text{ N/mm}^2$ $\Sigma(\max \sigma_{inf}) = +192,3 \text{ N/mm}^2$ $\Sigma(\min \sigma_{inf}) = -283,2 \text{ N/mm}^2$
Stabilnost na: Eksc. pritisak Centr. pritisak	Trapezna rebra orto-ploče: $\sigma_c / (\varphi_p f_d) = 0,60 < 1$ $\sigma_c / (\varphi_p f_d) = 0,52 < 1$
Uporedni napon gornj. pojasa	Čelik 18G2A: $f_d = 305,0 \text{ N/mm}^2$ $(\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_z)^{0,5} = 232,8 \text{ N/mm}^2$
Donji pojas: Stabil. lima Stabil. ukruć.	Najveće iskorišćenje: $\sigma_c / (\varphi_p f_d) = 0,91 < 1$ $\sigma_c / (\varphi_p f_d) = 0,96 < 1$
Vertik. limovi Stabil. lima Stabil. ukruć.	Najveće iskorišćenje: $\sigma_c / (\varphi_p f_d) = 0,87 < 1$ $\sigma_c / (\varphi_p f_d) = 0,71 < 1$
Vertik. limovi Stabilnost pri složenom nap.	$\max[(N_w/N_{Rw} + M_w/MR_w)^2 + (V/V_R)^2] = 0,52 < 1$
Piloni Teorija II reda	Apsolutno najveći napon: abs max $\sigma = -237,1 \text{ N/mm}^2 < f_d$ Najveći uporedni napon: abs max $(\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_z)^{0,5} = 315,7 \text{ N/mm}^2 \approx 1,10 f_d = 313,5 \text{ N/mm}^2$ ( $f_d = 295,0 \text{ N/mm}^2$ )
Ugib trapeznih rebara orto-pl.	max v = 2,3 mm < 5 mm
Ugibi grede: $g_1 + g_2$ $2K + q + q_t$ Nadvišenje od 25% sa obr.opt. Rotacija	max v = -459 mm (na gore) max v = 1089 mm (na dole)  Nadvišenje = 654 mm max $\varphi_x(2K + q + q_t) = 2,18\%$
Ugib pilona $2K + q + q_t$	max u = 210 mm Nadvišenje = 200 mm
Oscilacije: fleksione torzionalne	$n_{1,f} = 0,381 \text{ Hz}$ $n_{1,t} = 0,786 \text{ Hz}$

## 6. Projektantski tim

Na realizaciji zadatka radio je brojni projektantski tim. Obzirom na, na izvestan način

istorijsku dimenziju ovog projekta za naše konstruktore, navodi se nadalje kompletan projektantski tim sa svojim pojedinačnim zaduženjima, pošto se do sada nigde nije pojavio u našoj javnosti, (za razliku od sličnih projekata u našoj tehničkoj prošlosti, gde je to bila uobičajena praksa – Most Gazela i Železnički most u Beogradu npr.). Ovde treba napomenuti i vremenski trenutak u kom je Projekt nastao, 1998-1999, teške društvene, materijalne i međunarodne prilike. Rad na Projektu je intenzivno tekao čak i u vreme ratnih prilika (proleće 1999.), sa računarima priključenim na benzinske agregate, na nekoliko lokacija u Beogradu (kao mera sigurnosti), sa neograničenim radnim vremenom (i do 16 sati dnevno!), i sa veoma visokim ukupnim utroškom vremena. Finalni produkt je oko 3000 strana tehničkih tekstova i proračuna, oko 1000 m<sup>2</sup> (u jednom primerku) crteža za izvođenje čeličnih, spregnutih i betonskih konstrukcija. Kompletan tehnička dokumentacija je urađena na poljskom jeziku i 100% elektronski (gde su i ovi projektanti morali da prođu kratku obuku kako bi bili u stanju da čitaju na poljskom – u originalu svu tekuću dokumentaciju, norme i literaturu).

Treba posebno naglasiti i izvanrednu saradnju sa poljskim kolegama, posebno sa g. Jozefom Kravčikom i g. Brankom Markovićem (predstavništvo Inexa u Varšavi), uz čije ogromno zalaganje je ovaj (i) poslovni poduhvat uspeo.

- Firma – projektant:  
**Budoplan**, Plock, Poljska; direktor i vlasnik: **Jozef Krawczyk**, mgr. inž.
- Autori:  
Akademik prof. dr **Nikola Hajdin**, dipl. inž. grad., dr **Bratislav Stipanić**, dipl. inž. grad.: idejno rešenje, opšte vođenje i koordinacija projektnih poslova u Beogradu i Plocku, tender za licitaciju, kontakti sa Investitorom, projektantski nadzor (2002-2005);
- Projektanti:  
Prof. dr **Šerif Dunica**, dipl. inž. grad: globalni statički i dinamički proračuni, proračuni stabilnosti, proračuni metodom konačnih elemenata, proračuni kablova mosta i proračun u svim fazama montaže mosta;  
**Aleksandar Bojović**, dipl. inž. grad: konstruisanje mosta, proračun čeličnih i spregnutih konstrukcija, tehnički opisi i tehnički uslovi za izvođenje, projekt održavanja, tender za licitaciju;  
Prof. dr **Miloš Lazović**, dipl. inž. grad.: konstruisanje stubova i fundiranje mosta sa odgovarajućim proračunima.
- Članovi tima na različitim projektantskim zadacima:

Doc. dr **Nenad Marković**, dipl. inž. grad.: proračun spregnutih konstrukcija, tender za licitaciju;

**Bojan Tepavčević**, dipl. inž. grad.: proračuni  
stubova i fundiranja;

**Dimitrije Aleksić**, dipl. inž. grad.: vođenje izrade radioničkih crteža i specifikacija;

**Nenad Nedeljković**, dipl. inž. grad.: kontrola radioničkih crteža;

**Srđan Protić**, dipl. inž. maš.: projekti  
revizionih kolica;

**Predrag Tanasić**, dipl. inž. grad.: saradnik na izradi konkursnih projekata.

- Crteži konstrukcije:

Milan Radenković, grad. teh.,

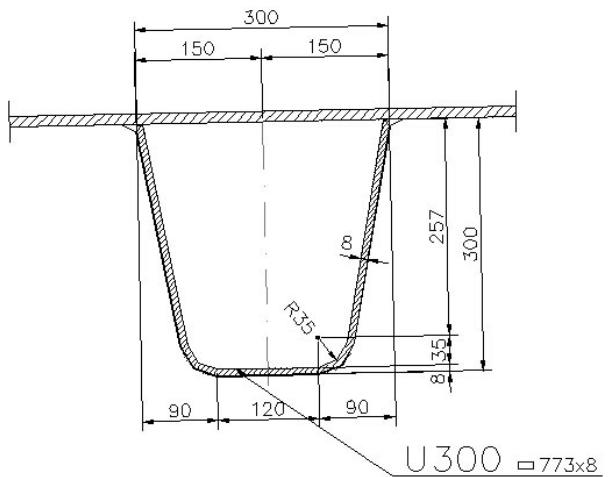
Goran Višnjić, grad. teh.,

**Dragomir Gojgić**, dipl. inž. grad.,

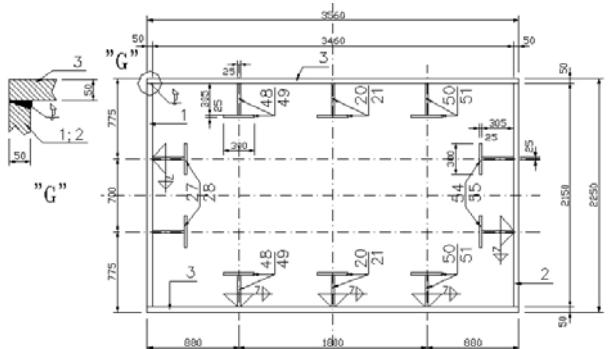
**Predrag Simić**, grad. teh.,

Jelena Aleksić, dipl. inž. gradđ.,

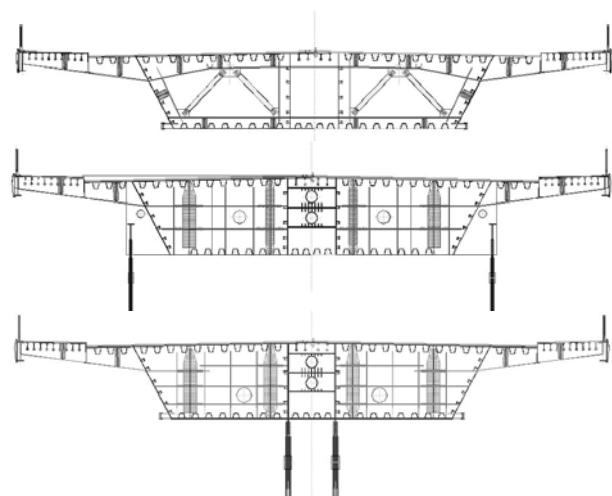
Novka Tadić, grad. teh.



**Slika 3:** Detalj ortotropne ploče – zavarena veza sa punim provarom podužnog rebra i kolovoznog lima.



**Slika 4:** Tipični poprečni presek pilona. Uglovi snaduka pilona i montažni zavareni šavovi – sa punim provarom.



**Slika 2:** Karakteristični poprečni preseci grede u polju i kod osloničkih zatega.



**Slika 5:** Glavna mostovska konstrukcija u montaži. Foto: B. Stipanić, septembar 2004.



**Slika 6:** Detalj prodora kablova kroz gredu. Kablovi: Freyssinet. Foto: B. Stipanić, avgust 2004.



**Slika 7:** Oslonačka dijafragma glavne mostovske konstrukcije na obalnom stubu. Foto: B. Stipanić, avgust 2004.



**Slika 8:** Glavna mostovska konstrukcija pred kraj montaže. Foto: B. Stipanić, januar 2005.

## 7. Literatura

- [1] PN-82/S-10052:  
Objekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Projektowanie.
- [2] PN-90/B-03200:  
Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [3] PN-85/S-10030:  
Objekty mostowe. Obciążenia.
- [4] PN-77/B-02011:  
Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem.
- [5] ENV 1991-1: 1994  
Basis of design and actions on structures. Part 1: Basis of design.
- [6] ENV 1991-2-4: 1994  
Basis of design and actions on structures. Part 2-4: Wind actions.
- [7] ENV 1991-3: 1995  
Basis of design and actions on structures. Part 3: Traffic loads on bridges.
- [8] ENV 1993-2: 1997  
Design of steel structures. Part 2: Steel bridges.
- [9] ISO 4354: First edition 1997-07-01  
Wind actions on structures.
- [10] Bogucki,W., Zyburstowicz,M. :  
Zalecane najniższe grupy stali dla elementów konstrukcji stalowych lub ich części. Tablice do projektowania konstrukcji stalowych. Arkady, Warszawa, 1996.
- [11] Ermuedungssicheres Konstruieren von orthotropen Platten fuer Strassenbruecken. Sedlacek/Paschen. April 1996
- [12] Herzog, Max:  
Stahlgewichte moderner Eisenbahn und Strassenbrücken. Der Stahlbau, Heft 9/1975.
- [13] Haibach, E., Plasil, I.:  
Untersuchungen zur Betriebsfestigkeit von Stahlleichtfahrbahnen mit Trapezholzsteifen im Eisenbahnbrueckenbau. Der Stahlbau 52 (1983), H. 9, S. 269-274
- [14] Guenter,G., Bild,S., Sedlacek,G.:  
Zur Frage der Haltbarkeit von Fahrbahnbelägen auf stahlernen Strassenbruecken. Der Stahlbau 54 (1985), H. 11, S. 336-342