

**Damir ČORKO**  
Mr.sc., dipl.ing.građ., CONEX, Zagreb, Trešnjevac 19

**Davorin KOVAČIĆ**  
Dr.sc., dipl.ing.građ., BBR CONEX, Zagreb, Trešnjevac 15

**Tomislav IVANKOVIĆ**  
Dr.sc., dipl.ing.geol., Geotehnički fakultet, Varaždin, Halerova alea 7

## **PRIKAZ TEMELJENJA MOSTA “DUBROVNIK”**

**SAŽETAK:** Most preko Rijeke Dubrovačke sastoji se od dva konstruktivna sklopa, i to: spregnuta konstrukcija ovješena na jednom stupu - pilotu, te prednapregnuta armirano betonska konstrukcija također s jednim osloncem (stupom) u rasponskom dijelu. Naravno, postoje i dva upornjaka. Raspon mosta između dva stupa je cca 304 m, dok je cijela duljina mosta cca 484 m.

Most je lociran u području visoke seizmičke aktivnosti, što u kombinaciji s rasponom mosta rezultira izuzetno velikim silama koje se trebaju prenijeti u tlo. Geomorfološke karakteristike terena na mikrolokaciji oslonaca dodatno otežavaju problematiku temeljenja. Vezano za takvu situaciju potrebno je predvidjeti i zahtjevnu temeljnju konstrukciju.

U redu su prikazani osnovni elementi projekta temeljenja.

## **FOUNDATIONS STRUCTURE OF “DUBROVNIK BRIDGE”**

**SUMMARY:** The bridge across the river "Rijeka Dubrovačka" consists of two different superstructure elements. A 147,4 meters long west viaduct in prestressed concrete is supported by a pier and by an abutment. An adjacent main composite cable-stayed bridge 334 meters in length is suspended on a pylon and supported by an abutment. The main span of the bridge is 304 m.

The bridge is situated in the area of very high seismic activity. In interaction with bridge span this yields extremely high forces which should be transmitted to the ground. The geomorphological features of the site at the position of supports make the foundation problems even worse. The resulting solution requires rather demanding foundation structure.

The paper presents the basic features of the foundation design.

## 1. UVOD

Most preko Rijeke Dubrovačke projektiran je s četiri oslonca, upornjak na splitskoj strani, upornjak na dubrovačkoj strani, stup na splitskoj strani i stup na dubrovačkoj strani.

Most je lociran u području visoke seizmičke aktivnosti, a obzirom na planiranu dispoziciju mosne konstrukcije, opterećenja koja treba prenijeti u tlo su izrazito nepovoljna. Vezano za takvu situaciju potrebno je predvidjeti i zahtjevnu temeljnu konstrukciju. Za iznalaženje odgovarajuće vrste temelja izrađen je niz proračuna za razne varijante temelja, kako bi se mogla odrediti konstrukcija koja sa sigurnošću može preuzeti napadne sile i odgovarajuće ih distribuirati u tlo.

## 2. OSVRT NA GEOMEHANIČKE ISTRAŽNE RADOVE

Geotehničke istražne radove za potrebe izrade projekta te izvedbe radova temeljenja proveo je "Institut Građevinarstva Hrvatske" d.d. - Zavod za geotehniku, iz Zagreba.

Provedena istraživanja pokazala su da se temeljno tlo sastoji od slojevitih masivnih vapnenaca i dolomičnih vapnenaca, te rjeđe tanko uslojenih vapnenaca. Učestala je pojava prividno tanko uslojenih vapnenaca nastalih raspadanjem debelo uslojenih vapnenaca po plohama paralelnih slojevitosti.

Vapnenci su izrazito razlomljeni i uz pojave rasjeda često milonitizirani. Pukotine su više sustavnog obilježja (više od četiri sustava) što ukazuje na komplikiranu tektoniku.

Vrlo su česte pojave zjapecih zjevova po valovitim i zupčastim plohama pukotina nastalih smicanjim pomacima (što je naročito evidentno na splitskoj strani). Generalno gledano slojevi (pukotinski ustav) na dubrovačkoj strani su relativno nepovoljno orijentirani (pad slojeva je prema moru). Na splitskoj strani stanje je obrnuto.

Poseban problem kod temelja stupova je to što su oni locirani neposredno uz rub mora, a to znači da su prisutni problemi s iskopom, odnosno zaštitom iskopa, naročito od utjecaja vode.

Upornjak na dubrovačkoj strani lociran je na vrhu vrlo strme padine, pa tu postoji i izražen problem stabilitetu ove padine. Upornjak na splitskoj strani već je ranije izgrađen, i on nije predmet ovog prikaza.

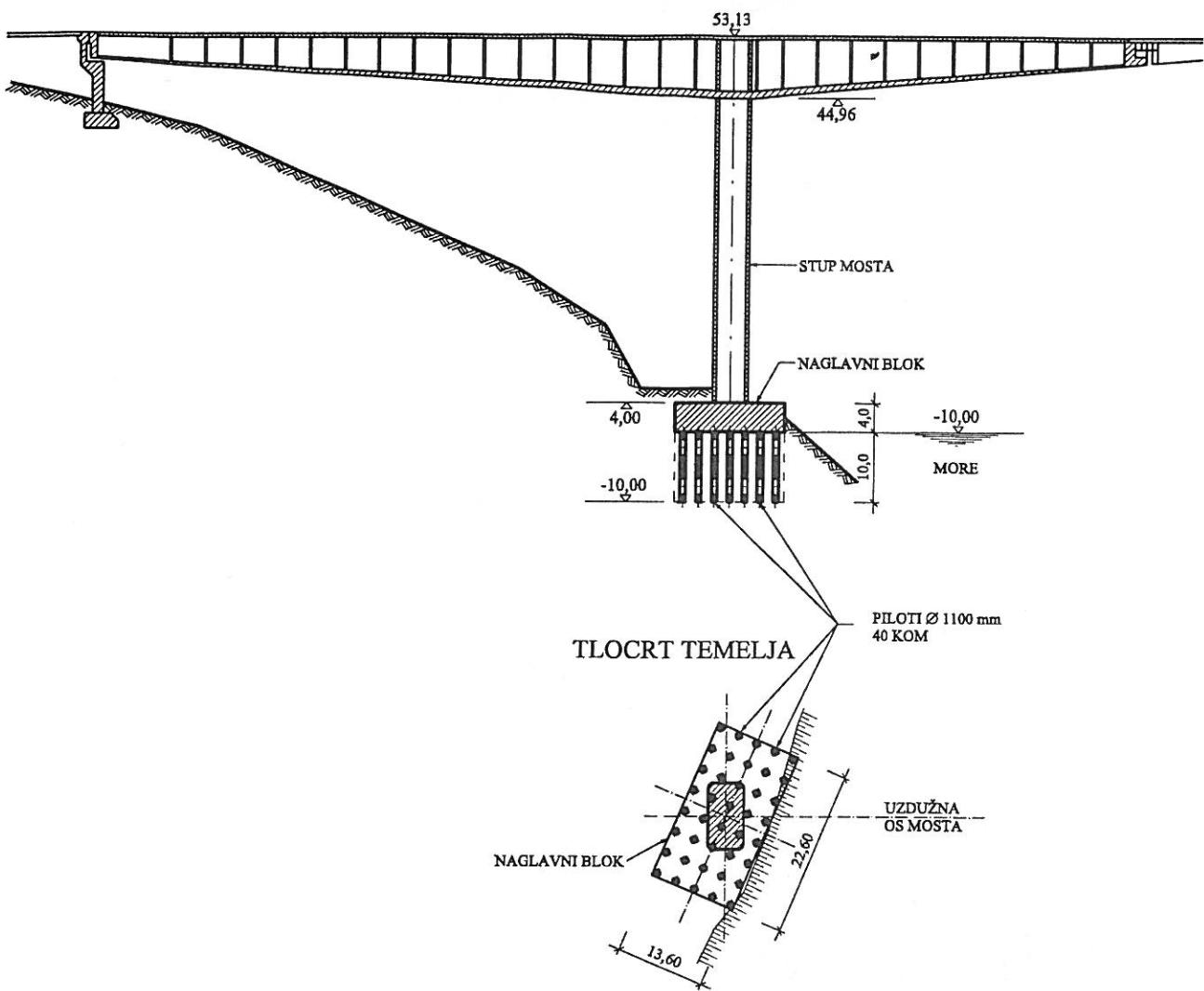
## 3. PRIKAZ TEMELJA

### 3.1. Stup na splitskoj strani

Razmatrane su tri osnovne inačice mogućeg rješenja temelja ovog stupa, i to:

1. Temeljenje na armirano betonskom bloku duljine 23,0 m, širine 15,0 m, debeline 6,00 m. Dubina temeljenja trebala bi biti na koti – 4,50 mNM. Izvođenje ovako duboke jame, praktično u moru, bilo bi skoro nemoguće, te je ovo rješenje napušteno.
2. Temeljenje na bloku koji se u gornjem dijelu sastoji od naglavnog armiranobetonorskog bloka dimenzija 22,60 x 13,60 x 4,0 m, te osnovne stijene i grupe od 160 mikropiloti, duljine 10,0 m. Mikropiloti imaju funkciju povezivanja mase osnovne stijene u cjelinu, tako da je osigurano zajedničko djelovanje sustava temeljnog bloka. Nedostatak rješenja je to što bi osim ovih zahvata trebalo injektirati i cca 5,0 m gornjeg sloja stijene.
3. Temeljenje na bloku koji se sastoji od naglavnog armiranobetonorskog bloka sustava od 40 bušenih pilota promjera 1100 mm i stijene koja okružuje pilote. Ovo rješenje se pokazalo prihvatljivim. Radovi su prema tom rješenju izvedeni bez posebnih problema, i u vrlo prihvatljivom roku.

### POGLED NA MOST



Slika 1. Temelj stupa na splitskoj strani – odabрано rješenje

#### 3.2. Stupa na dubrovačkoj strani – pilon

Temelj pilona lociran je također blizu obale, ali ipak donekle udaljeno, tako da se ovdje moglo priхватiti rješenje s temeljenjem na masivnom armiranobetonskom bloku debljine 6,0, a tlocrta (konačno rješenje)  $15,50 \times 15,50$  m. Postoje dva ovakva bloka koji su povezani gredom presjeka  $4,0 \times 3,0$  m.

Za dodatno osiguranje temelja predviđena je ugradnja 20 prednapetih geotehničkih sidara (i rezervni položaji za eventualno potrebna dodatna sidra). Sva sidra su dimenzionirana na silu od 1000 kN.

Obzirom na potrebnu trajnost sidara, koja je posebno upitna u uvjetima uronjenosti u morsku vodu, predviđena je ugradnja sidara izrađenih od karbonskih vlakana – CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer) iz sustava proizvoda BBR Švicarska. Sidra se sastoje od 43 žice  $\phi 5$  mm ( $F_z=19,6 \text{ mm}^2$ ).

Osnovne karakteristike sidara bi bile:

$$\sigma_f = 2,40 \text{ kN/mm}^2$$

$$E=160 \text{ kN/mm}^2$$

$$N_z=47,04 \text{ kN}$$

$$N_{\text{sidra}} = 2022,72 \text{ kN} \quad (\text{nominalni faktor sigurnosti je } F_s \approx 2,0)$$

#### **4. KONTROLA TEMELJENJA**

Obzirom na zahtjevnost objekta (temelja) predviđeno je kontrolirati (mjeriti) pomake temelja i temeljnog tla, kako tokom građenja tako i u eksploraciji mosta. U tom smislu predviđeno je ugraditi instrumentarij koji će omogućiti mjerjenje vertikalnih i horizontalnih pomaka temeljnog sustava, te same padine.

Ovisno o konkretnoj dispoziciji pojedinog temelja, instaliran je određeni broj mikrometara, deformetara, te klinometara. Mikrometri i deformetri se ugrađuju u vertikalne i horizontalne bušotine pojedinih duljina do 20 do 30 m, te omogućavaju mjerjenje pomaka na svakih metar razmaka s točnošću 0,03 mm/m. Klinometri postavljaju direktno na armirano betonsku konstrukciju upornjaka.

Pored toga predviđena je kontrola integriteta i kontinuiteta presjeka pilota, kao i kontrola sile u pred napregnutim sidrima.

Naravno predviđena su i odgovarajuća geodetska praćenja objekta.

#### **5. ZAKLJUČAK**

U radu su navedeni samo osnovni elementi rješenja temeljenja impozantnog mosta lociranog u nepovoljnoj sredini u prvom redu zbog mogućih djelovanja sila izuzetno jakih potresa. Kao ilustracija tih djelovanja navodi se podatak da je projektni intenzitet djelovanja potresa 0,39 g. Taj podatak dovoljno govori sam za sebe.

Poseban problem su utjecaji mora, u prvom redu kao agresivni (korodivni) element na konstrukciju temelja. Iz tih razloga su predviđeni i izuzetno strogi uvjeti pripreme i ugradnje i njegovanja betona, kao i konstruktivni detalji vezani uz to.

Pored takovih činilaca i skučeni prostor građenja (a vezano za to i potrebne sigurnosti i osiguranja) dodatno otežavaju realizaciju zadatka.

U vrijeme pisanja ovog članka radovi su u tijeku. Konkretno izvedeni su svi piloti za temelj stupa na splitskoj strani. Promjer pilota je veći od jednog metra, duljine pilota su 10,0m. Iskop (bušenje) je proveden kroz slojeve dijelom razlomljene vaspene stijene, a dijelom kroz slojeve debljine i preko metra. Napredovanje je bilo jedan pilot (kompletno završen) na dan, što se može smatrati vrlo dobrim rezultatom. Paralelno se izvode radovi injekcijske zaštite

iskopa građevinske jame za temelj pilona. Radovi teku bez problema, iako uz napomenu da su utrošci injekcijske smjese prilično veliki. Također je počela priprema radnog platoa za izvedbu temelja upornjaka na dubrovačkoj strani.

Obzirom na trenutnu situaciju, iskustva u vezi realizacije svih projektiranih radova su tek djelomična.

#### **Literatura.**

- "CONEX" – Most "Dubrovnik" temelj stupa P2 i pilona; Geostatičke analize; Elaborat 2/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj stupa P2 – varijanta I; Geostatičke analize; Elaborat 9/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj stupa P2 – varijanta II; Geostatičke analize; Elaborat 10/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj pilona – varijanta II; Geostatičke analize; Elaborat 11/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj stupa P2; Glavni i izvedbeni projekt; Elaborat 12/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj pilona; Glavni i izvedbeni projekt; Elaborat 15/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj stupa P2 – varijanta s mikropilotima; Glavni i izvedbeni projekt; Elaborat 29/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj dubrovačkog upornjaka – varijanta s injektiranjem; Glavni i izvedbeni projekt; Elaborat 39/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj pilona – dodatne geostatičke analize; Elaborat 87/99
  - "CONEX" – Most "Dubrovnik" - Temelj dubrovačkog upornjaka – varijanta s pilotima; Glavni i izvedbeni projekt; Elaborat 99/99
  - "CONEX" - Most "Dubrovnik" - Temelj dubrovačkog upornjaka – varijanta s pilotima; Glavni i izvedbeni projekt osiguranja pokosa padine; Elaborat 109/99
- BBR Review, Introducing BBR CARBON STAY Technology; November 1996.  
BBR Review; BBR CARBON Cables Technology, Current Projects; May 1998.  
BBR Review; Special report on recently executed applications of BBR CARBON Cables Technology; January 1999.