

Damir ČORKO
mr. sc., dipl. ing. građ., CONEX d.o.o., Zagreb

Natalija STOJIĆ
dipl. ing. građ., CONEX d. o.o., Zagreb

Nedjeljko PINTARIĆ
dipl. ing. građ., Kikićeva 3, Zagreb

Davorin KOVAČIĆ
doc. dr. sc., dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

IZVEDBA I KONTROLA GEOTEHNIČKIH SIDARA ZA MASLENIČKI MOST

SAŽETAK: Novi most preko Novskog ždrila (Maslenički most) u glavnom otvoru ima betonski luk raspona 200 m. Luk je izveden konzolnom gradnjom s obje strane od peta prema tjemenu luka. Izgrađene sekcije luka vješane su kablovima preko privremenih pilona za sidrene blokove. Sile koje su prenošene na sidrene blokove bile su izuzetno velike. Uravnoteženje ovih sila izvedeno je pomoću grupe geotehničkih sidara. U članku su prikazani osnovni elementi rješenja sidara, njihove izvedbe, kao i podaci probnih ispitivanja.

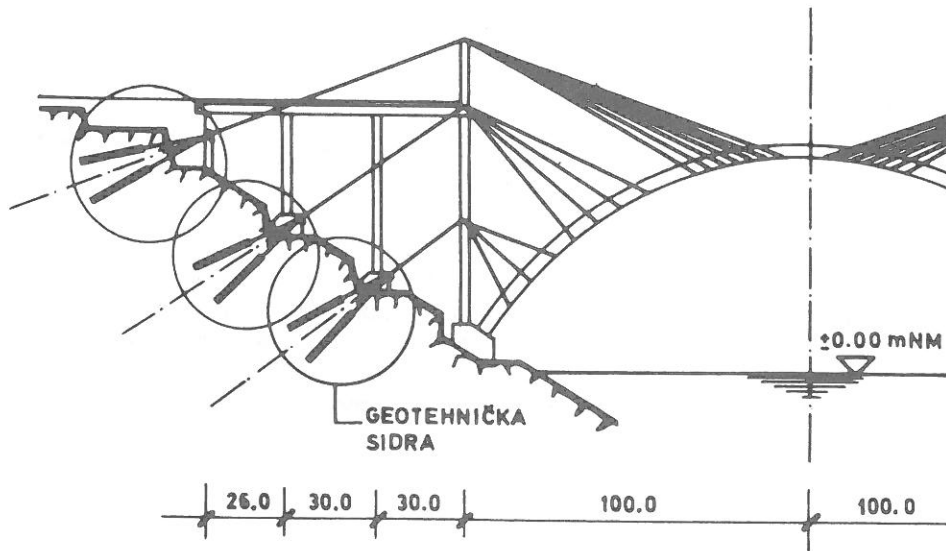
EXECUTION AND TESTING OF GROUND ANCHORS FOR MASLENICA BRIDGE

SUMMARY: The new bridge across Novsko ždrilo (Maslenica bridge) has the main span with the span-length of 200 m. The casting of the arch was performed by cantilevering construction method using movable formwork. The completed portions of the arch were suspended by temporary backs-stays across the auxiliary pylons to the anchoring blocks. The forces to be transmitted to the blocks were extremely high. They were stabilized by the system of ground anchors. The paper describes the basic elements of the anchorage concept, construction procedure and load test results.

UVOD

Novi most preko Novskog ždrila (Maslenički most) u glavnom otvoru ima betonski luk raspona 200 m. Luk je izveden konzolnom gradnjom s obje strane od pete prema tjemenu luka. Izgrađene sekcije luka vješane su kablovima preko privremenih pilona za sidrene blokove. Sile koje su prenošene na sidrene blokove izuzetno su velike. Uravnoteženje ovih sila izvedeno je pomoću grupe geotehničkih sidara.

Na slici 1. je shematski prikaz mosta s dispozicijom geotehničkih sidara kojima su sile putem tzv. "back-stay" kablova (kablovi na koju je ovješena skela), preko prenosne čelične konstrukcije prenešene u tlo (stijenu).



Slika 1. Dispozicija sidrenih blokova

Ukupno je izvedeno 77 geotehničkih sidara (37 na riječkoj strani i 40 na zadarskoj strani). Sva sidra su sistema BBRV, a sastoje se od 32 žice Φ 7 mm visokovrijednog čelika. Sidra su privremenog karaktera te su izvedena s jednostrukom zaštitom od korozije. Sva sidra su projektirana na istu računsku silu koja iznosi 1.200 kN.

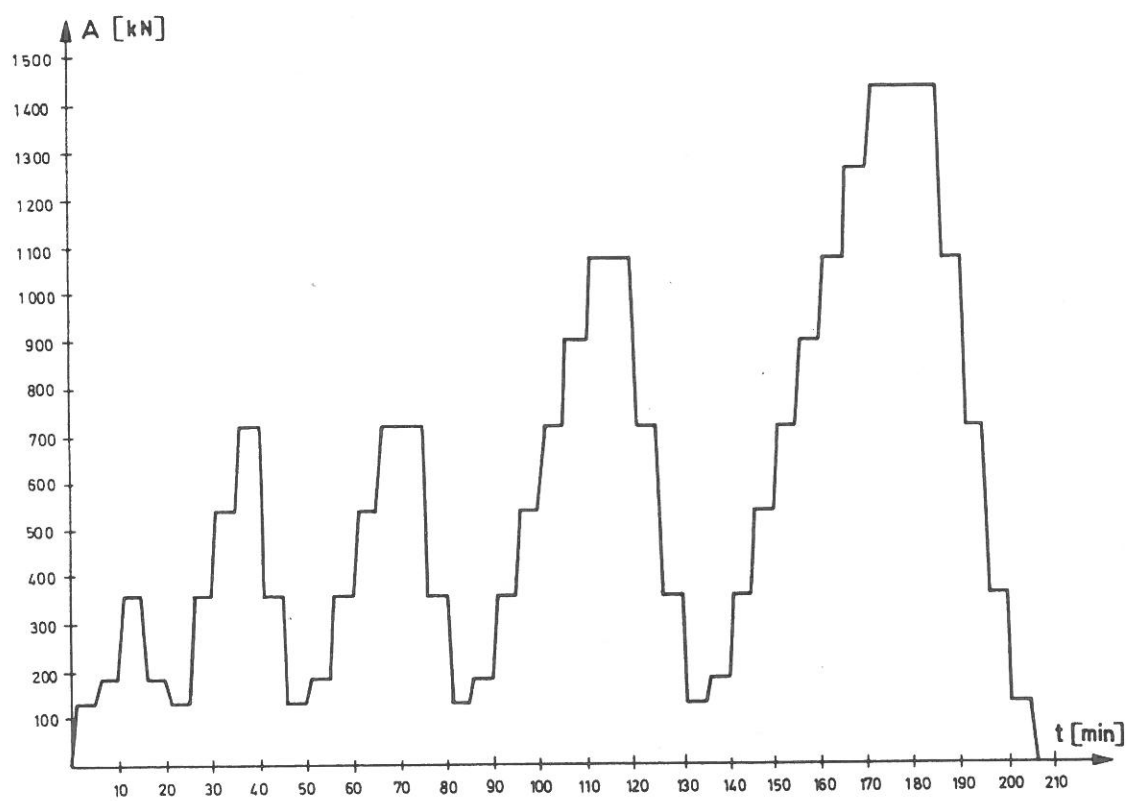
OPIS SIDRENJA

Predviđeno je šest pozicija sidrenja, po tri na svakoj obali mosta. Dva oslonca se poklapaju s upornjacima, tri se poklapaju s pozicijom temelja stupova, a jedan oslonac je neovisan o konstruktivnim elementima mosta.

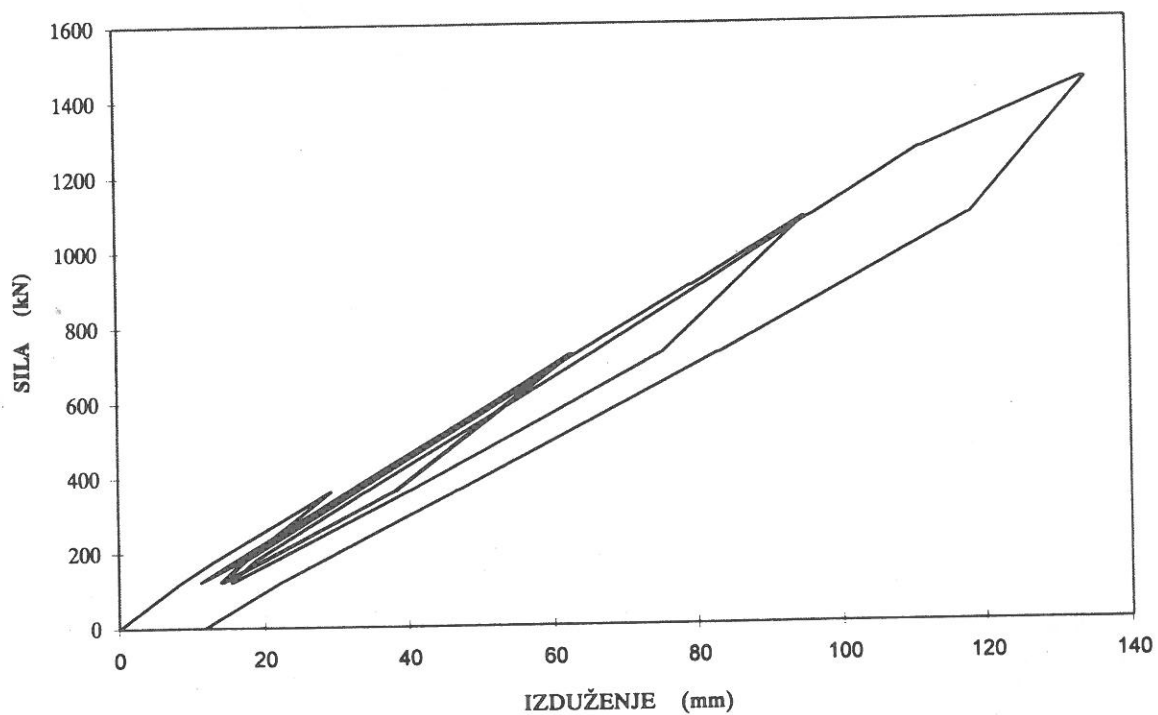
Ukupna duljina pojedinog sidra kreće se od 26,5 m do 35,0 m, ovisno o karakteristikama stijene i o dispoziciji (geometriji) oslonca. Sidrišne dionice sidara duljine su od 7,0 do 9,0 m. Završni promjer bušotina je 116 mm.

Ukupno je izbušeno 2.230,0 m³ bušotina za sidra. Projektirani kriterij kvalitete stijene u zoni sidrenja bio $VDP < 3 Lu$ (vodopropusnost). Ni u jednom slučaju kriterij nije bio zadovoljen, tako da je na svim sidrima provedeno konsolidacijsko injektiranje. Također su u fazi bušenja injektirane izraženo oslabljene zone stijene.

Konsolidacijsko injektiranje stijene u zoni sidrenja izvedeno je injekcijama na bazi cementa, a na mjestima izraženijih oslabljenja korišten je i pijesak. Ukupno je ugrađeno 423.500 kg suhe tvari injekcijske smjese, ili prosječno 190 kg po m³ bušotine. Kriterij uspješnog injektiranja bio je $VDP < 1 Lu$.



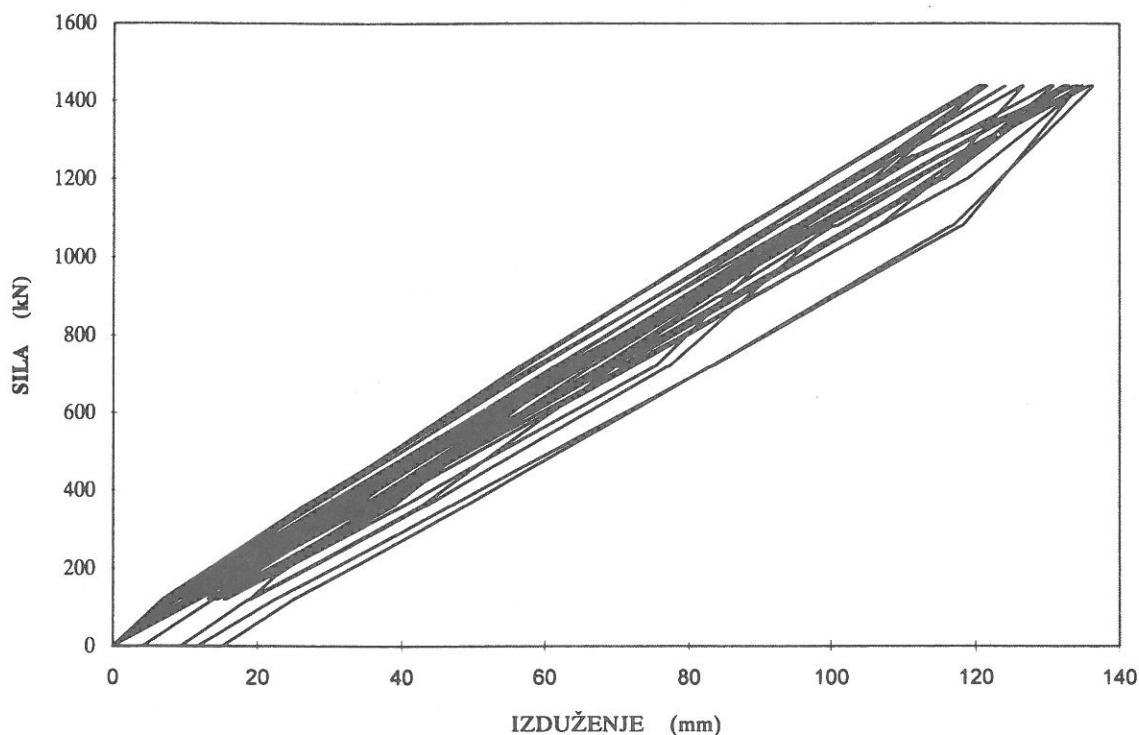
Slika 2. Dijagram inkremenata nanošenja sile za vrijeme primopredajnih ispitivanja sidara



Slika 3. Dijagram prednapinjanja za sidro GS1

Sva sidra su nakon ugradnje ispitana na silu 1.440 kN (20% veći intenzitet od računске sile). Sila prednapinjanja nanešena je u inkrementima računске sile. Samo jedno sidro je pokazalo nosivost manju od predviđene (1.040 kN), te je umjesto njega izvedeno novo sidro. Za takve eventualne situacije u konstrukciji oslonaca unaprijed su bile predviđene pozicije za izvedbu rezervnih sidara.

Izmjereni rezultati prednapinjanja sidara obrađeni su u skladu sa švicarskim standardima za prednapeta sidra. Dijagram inkremenata nanošenja sile za vrijeme primopredajnih ispitivanja sidara prikazan je grafički na slici 2. Na slici 3. je dijagram prednapinjanja za jedno karakteristično sidro iz osloncu na mjestu "Stup 2", a na slici 4. prikazan je skupni dijagram prednapinjanja sidara tog oslonca.



Slika 4. Skupni dijagram probnog prednapinjanja sidara oslonca "Stup 2"

KONTROLA KVALITETE

Pomak glave sidra u nekoj fazi ispitivanja sastoji se od elastične (povratne) i plastične (trajne) komponente. Komponenta trajnog pomaka određena je veličinom pomaka rasterećenja na silu $A^0 = 120 \text{ kN}$. Ponašanje sidra ocjenjuje se analizom linija elastičnih deformacija sidra. Pri tome se određuju granične linije, a linije izmjerenih elastičnih pomaka trebaju biti unutar ovih graničnih linija.

Gornja granična linija definirana je izrazom:

$$s_e = \frac{A - A_0}{E \cdot F_e} (l_{fst} + 0,5 \cdot l_v)$$

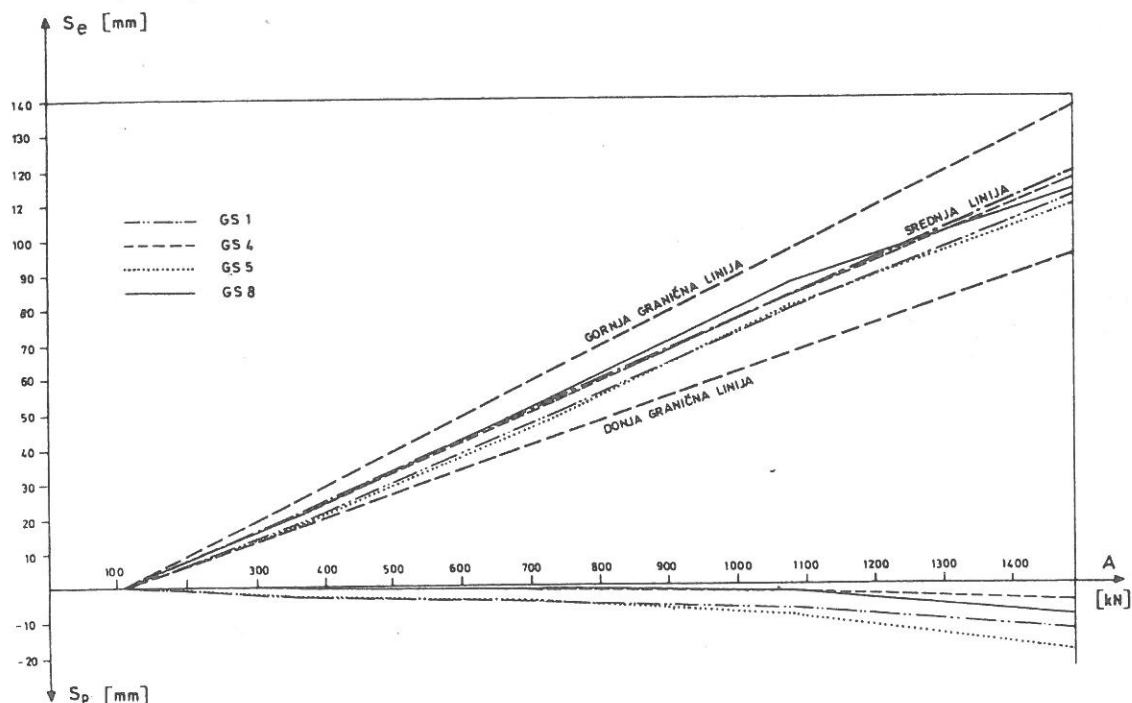
gdje je:

- s_e - elastični pomak
- A - sila ispitivanja
- A_0 - sila predopterećenja (120 kN)
- E - modul elastičnosti čelika
- F_e - površina poprečnog presjeka čelika
- l_{fst} - slobodna duljina sidra
- l_v - sidrišna dionica

Donja granična linija definirana je izrazom

$$s_e = 0,8 \cdot \frac{A - A_0}{E \cdot F_e} l_{fst}$$

Na slici 5. prikazana je kontrola za četiri sidra tog oslonca (uključivo i sidro sa slike 3). Na dijagramu su odvojeno prikazani elastični pomaci s_e i plastični pomaci s_p .



Slika 5. Kontrola kvalitete za četiri sidra oslonca "Stup 2"

Trajne deformacije sidara bile su reda veličine 120 mm (maksimalna deformacija bila je 14,83 mm). Nakon završenog testiranja sidara "ostavljena" je sila od 1200 kN; jednaka računskoj sili, kako bi se spriječilo da se kod građenja luka i povećavanja sile opterećenja pojavi dodatna deformacija. Eventualne deformacije sidara odrazile bi se na sigurnost cijelog sistema vješanja luka.

Od ukupnog broja sidara samo je jedno podbacilo u smislu nosivosti, a na jednom sidru je pukla jedna od žica u snopu, ali bez posljedica na ukupni kvalitetu sistema vješanja.

ZAKLJUČAK

U okviru ovakovog prikaza nije moguće prezentirati detalje izvedbe sidrenja, već samo koncepciju rješenja. Luk je kompletno izveden i nije bilo problema te proizlazi da su postavke rješenja bile adekvatne potrebama konstrukcije mosta. Pri tome treba imati na umu da su sidra projektirana na relativno velike sile, a snop sidara je ipak morao biti ograničen na relativno usko područje stijene u koju je sidren. Ovo je posebno bio izražen problem kod sidara na upornjaku mosta gdje nije postojao znatniji nadsloj stijenske mase pa je postojao određeni rizik kod uravnoteženja sila sidara u stijeni. Ta bojazan se pokazala u izvjesnoj mjeri opravdanaom jer je kod samog dovršetka luka došlo do malih (srećom bezopasnih) popuštanja.

Pri tome se pokazao i određeni nedostatak u pristupu proračuna sidrene konstrukcije. Naime, u takvim proračunima je u pravilu u dozvoljena naprezanja uključen faktor sigurnosti, ali s druge strane ne postoji faktor sigurnosti za dozvoljene deformacije. Ovaj faktor sigurnosti je najčešće posredno ugrađen (preko dozvoljenih naprezanja), ali u nekim posebnim slučajevima (u ovom članku prikazana izvedba bila je upravo takav slučaj) ovaj nedostatak može biti znantno izražen. Smatramo da bi ovaj problem trebalo razmotriti u okvirima odgovarajućih strukovnih udruženja.

LITERATURA

MASLENIČKI MOST - Projekt geotehničkih sidara za osiguranje skele luka, CONEX, Zagreb, studeni 1994.

MASLENIČKI MOST - Geotehnička sidra za osiguranje skele luka - Analiza podataka prednaprezanja sidara, Knjiga 1, CONEX, Zagreb, siječanj 1996.

MASLENIČKI MOST - Geotehnička sidra za osiguranje skele luka - Analiza podataka prednaprezanja sidara, Knjiga 2, CONEX, Zagreb, travanj 1996.

Čorko, D., Lovrenčić, D., Pintarić, N., Mesek, Z., (1996). Osiguranje skele Masleničkog mosta geotehničkim sidrima, Zbornik radova IV kongresa DHGK, Zamah graditeljstva - temelj razvitka Hrvatske, Cavtat, 23-28.