

VIA  
VITA



# CESTE I MOSTOVI

broj

1-2

godište 45.

Zagreb, siječanj-veljača 1999.

UDK 625.7:624.2/.8

CODEN CSMVB2

ISSN 0411-6380

Ceste i mostovi

God. 45

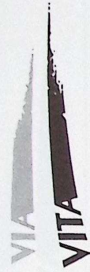
Br. 1-2

Str. 1-44

Zagreb, Hrvatska

siječanj-veljača 1999.





# CESTE I MOSTOVI

broj

# 1-2

godište 45.

Zagreb, siječanj–veljača 1999.

UDK 625.7:624.2/8 CODEN CSMVB2 ISSN 0411-6380

## SADRŽAJ

### ZNANSTVENI I STRUČNI ČLANCI

#### SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL PAPERS

- |   |    |   |
|---|----|---|
| Ivan Tomičić, Zagreb<br>pregledni članak – review   | 3  | Primjena betona visokih svojstava u<br>gradnji dugotrajnih seizmički otpornih<br>mostova<br>Application of High Characteristics Concrete<br>at Construction of Long Duration Seismically<br>Resistant Bridges                     |
| Juraj Padjen, Zagreb<br>pregledni članak – review   | 9  | Hrvatski položaj i interes u funkcionalnom<br>povezivanju Podunavlja i Jadrana<br>Croatian Position and Interest in<br>Traffic Connection of Podunavlje and Adriatic  |
| Božidar Renar, Zagreb<br>stručni članak – professional paper  | 17 | Tipski nadvožnjaci na autocesti<br>Zagreb–Varaždin–Goričan<br>Typical Bridges on the<br>Zagreb–Varaždin–Goričan Highway   |
| Stanko Šram, Zagreb<br>stručni članak – professional paper  | 21 | Iznenadnja i uzbudljivi događaji pri<br>neposrednom izvođenju mostova<br>Surprises and Exciting Happenings at<br>Immediate Bridge Construction  |
| Dubravko Starčević, Neven<br>Lang-Kosić, Davor Đurđević,<br>Zdenko Balaz, Zagreb<br>stručni članak – professional paper | 29 | Iskustva u rješavanju elektroenergetске<br>infrastrukture autoceste Zagreb–Goričan<br>Experiences in Development of Electrical<br>Infrastructure Systems on Highway<br>Zagreb–Goričan   |
| Marko Šarić, Šibenik<br>stručni članak – professional paper   | 37 | Elementi za kvalitetnije upravljanje i<br>funkcioniranje cestovnog i željezničkog<br>prometa u gradu Šibeniku<br>Elements for the Quality Management and<br>Functioning of the Road and Railway Traffic<br>in the City of Šibenik |

### RUBRIKE

- |  |    |   |
|--|----|---|
| Kongresi, savjetovanja, skupovi<br>obavijest | 41 | Drugi hrvatski kongres o cestama (uči treće<br>obavijest) |
| Cestovna dokumentacija                       | 42 | Sažeci članaka iz stranih časopisa (B. Fučić)             |

Ceste i mostovi God. 45 Br. 1-2 Str. 1-44 Zagreb, Hrvatska siječanj–veljača 1999.

Štovani čitatelji, cijenjeni autori, suradnici i članovi Društva  
Uz mnogo napora, uspjeli smo otisnuti i prvi dvobroj našega časopisa Ceste i mostovi u 1999. go-  
dini.

Kao i osada, razlozi kašnjenja u svim problemima ponajviše su financijske prirode. Agilni izdavački  
savjeti i Urednički odbor, a posebno Odbor za marketinšku djelatnost iznalaze sve moguće načine pri-  
bavljanja financijskih sredstava za rad Društva i izlaženje službenog glasila.

Zaključci posljednjih sjednica operativnih tijela osobito ukazuju na nužnost obnove i proširenja član-  
stva te redovitu pretplatu. Iskustva iz rada sličnih društava u svijetu naglašavaju upravo pozitivnu  
ulogu članstva i marketinške djelatnosti, no isto tako i znanstvenostručnog ugleda časopisa.

U tekouj godini očekuju se odista važna događanja na koja će Društvo i časopis odgovorno reagi-  
rati. Prvi je u nizu Drugi hrvatski kongres o cestama u Cavriatu od 24. do 27. listopada ove godine, o  
čemu smo izvještavali, pa to činimo i ovom prigodom. Organizacijski i Redakcijski odbor zaprimili su  
zavidan broj referata, a očekuje se i pun uspjeh glede nastupa uglednih tvrtki te broja sudionika u  
radu Kongresa.

Drugi važni događaji sadržani su u sveprisutnim naporima cestograditelja na obnovi i rekonstrukci-  
jama odnosno održavanju naše cestovne mreže. Osobito treba istaći financijske i graditeljske učinke  
svih sudionika na realizaciji važnijih novih objekata: dionice autoceste Slavonski Brod/Oprisavci – Ve-  
lika Koprnica, Tunela Sveti Rok/Velebit, svih radnih dionica na pravcu Rijeka – Zagreb – Varaždin, na  
Istarskom ipsonu te na temeljitijoj rekonstrukciji ceste D-1 od Karlova do Dalmacije. Nije neskrtno  
očekivati da se sudionici javne Uredništvu Cesta i mostova s opisom dragocjenih iskustava, na Kon-  
gresu ili pak na uprištenim skupovima sa stručnim izlaganjima.

Na posljednju, nešto i o sadržaju ovoga dvobroja Cesta i mostova. Dominiraju teme iz područja mo-  
stogradnje uglednih profesora S. Šrama i I. Tomičića te uvaženoga kolege B. Renara. M. Šarić se za-  
laže za kvalitetnije funkcioniranje cestovnog i željezničkog prometa u gradu Šibeniku, dok nas D.  
Starčević sa suradnicima upoznaje s rješavanjem elektroenergetске infrastrukture na autocesti Zagreb  
– Goričan.

Koristim priliku da sve članove i čitatelje pozovem na trajnu suradnju, a posebno, i u skladu sa za-  
ključcima radnih tijela Hrvatskoga društva za ceste, na obnovu članstva u 1999. godini te na preplatu.  
Ovo Društvo je naše i za nas!

prof. dr. sc. Ivan Legac  
glavni i odgovorni urednik

Slika na naslovnici: Obnovljena cesta Bunica – Senj iz programa Betterment





# CESTE I MOSTOVI

ROADS AND BRIDGES

Izdavač

Hrvatsko društvo za ceste  
Zagreb, Vontčina 3, tel. 46-17-422/63

Published by

Predsjednik

Dr. sc. Darko Milarić, dipl. ing.

Chairman

Ministarstvo pomorstva, prometa i veza Republike Hrvatske, Prinsvlje 14, 10000 Zagreb

Ministry of Maritime, Transport and Communications of the Republic of Croatia, Prinsvlje 14, 10000 Zagreb

Predsjednik

Željko Vivaldo, dipl. oec.

Publisher Board

Publishing Director

Mario Crljak (Osijek), Aleksandar Čaklović (Zagreb), Đuro Dekonović (Zagreb), Ante Divić (Zagreb), Petar Đukan (Zagreb), Zlatan Frčić (Zagreb), Željko Hriec (Zagreb), Vladimir Kos (Zagreb), Ivo Lazić (Zagreb), Aleksa Ladavac (Zagreb), Ivo Lazić (Split), Željko Lužavac (Zagreb), Jakša Miličić (Split), Luka Miličić (Zagreb), Dario Milinac (Zagreb), Boris Orđulj (Zagreb), Ivan Prgomet (Zagreb), Jure Račić (Zagreb), Josip Štornjak (Zagreb), Miro Šušteršić (Zagreb), Zdravko Tomljanović (Zagreb), Dražen Topolnik (Zagreb)

Urednički odbor

Prof. dr. sc. Ivan Legac, dipl. ing.

Editorial Board

Editor

Institut građevinarstva Hrvatske, J. Račkua 1, 10000 Zagreb

Zamjenik gl. i odg. urednika

Mr. sc. Mate Jurišić, dipl. ing.

Hrvatska uprava za ceste, Vontčina 3, 10000 Zagreb

Associate Editor

Byzirik Bezak (Brijuni), Pavo Boban (Mostar), Josip Bošnjak (Osijek), Vlado Buncić (Zagreb), Boris Golub (Zagreb), Ante (Pecuh), Šipani Matoš (Zagreb), Stanislav Pavlin (Zagreb), Mario Ladavac (Pazin), Martin Ljubičić (Metković), Ivo Lazić (Split), Zvonimir Marić (Zagreb), Pal Szakós (Budimpešta), Halim Šarar (Rijeka), Stjepan Storga (Zagreb)

Adresa uredništva

Hrvatsko društvo za ceste, Zagreb, Vontčina 3

Editor's Office

Časopis izlazi mjesečno

Lektura, korektura i tehničko uređenje: Mirjana Zec, prof.

Grafičko oblikovanje: Goran Cur, ing.

Klasifikacije i indeksiranje po UDK: mr. Davor Švegović

Sekundarne publikacije i baze podataka koje referiraju članke objavljene u časopisu:

TRIS baza podataka (Transportation Research Board, TRB), Washington, DC, SAD

Informacije se preuzimaju i od: HRIS, TLB, UMTRIS, ATRIS, HRSI, IPRIS

Za iskešanje časopisa koriste se sredstva Ministarstva znanosti i Hrvatske uprave za ceste

Prema mišljenju Ministarstva prosvjete i kulture (KI, oznaka 612-10/9-101-939. Ur. broj 532-03-1/91-01) časopis CESTE I MOSTOVI ima pravo proizvoditi iz članka 19. točka 14. Zakona o porezu na promet proizvoda i usluga, na koji se ne plaća osnovni porez na promet, a temeljem članka 20. Zakona o porezu na promet proizvoda i usluga ne plaća se ni poseban porez na promet.

Makladas: 1 200

TISKAR: HRVATSKA TISKARA d.o.o. - ZAGREB

Tiskanje dovršeno 20. VIII. 1999.



Pregledni članak - Review  
UDK 624.21/8519.876.5

Primljeno: 21. III. 1999.

Prilučeno: 15. VII. 1999.

Prof. dr. sc. Ivan TOMIČIĆ, dipl. ing.

Građevinski fakultet, Zagreb

## PRIMJENA BETONA VISOKIH SVOJSTAVA U GRAĐENJU DUGOTRAJNIH SEIZMIČKI OTPORNIH MOSTOVA

SAŽETAK

paktnost bez segregacije, volumenska stabilnost i laka ugradivost.

Valja istaknuti da su mnoga svojstva BVS međusobno ovisna, pa se promjenom jedne značajke mijenja druga ili više njih. Stoga je važno da tražena svojstva budu postignuta, stabilna i međusobno kompatibilna tijekom cjelovitog uporabnog vijeka mosta.

Za gradeenje visokih zgrada, kakvi su npr. neboderi, primjenjuju se također BVS, ali kod kojih je najizraženije svojstvo tlačna čvrstoća, a zatim trajnost i druga mehanička i ostala svojstva.

Karakteristična tlačna čvrstoća BVS, dobivena ispitivanjem valjaka 150/300 mm, prelazi 70 N/mm<sup>2</sup>, a doseže 100 N/mm<sup>2</sup> i više. Tako visoke čvrstoće postizu se uporabom silicijske prašine kao dodatka cementu ili izravno betonu, više frakcija kvalitetnog agregata i superplastifikatora. Vodocementni faktor takvih betona ne prelazi 0,35.

### 2. Mostovi od betona visokih svojstava izgrađeni u Sjedinjenim Američkim Državama

U Sjedinjenim Američkim Državama, na prijedlog ACI-Pokomitelja za betone visokih performanci, u četiri savezne države, izgrađeno je više mostova primjenom betona visokih svojstava, kako bi im se reducirala fizikalno-kemijska oštećenja te produžio vijek trajanja [9]. Najvažnije traženo svojstvo bilo je nepropusnost za vodu i škodljive tvari, a s tim u svezi trajnost. BVS primjenjivao se za izgradnju rasponske konstrukcije ili samo njene gornje ploče, a kod nekih mostova i za gradeenje popora (upornjaka i stupova). Tražilo se da konstrukcija bude otporna na koroziju armature, alkalno-agregatne reakcije, oštećenja smrzavanjem i odmrzavanjem te na djelovanje sulfata. Kako se nisu tražile osobito visoke čvrstoće (>70 N/mm<sup>2</sup>), najčešće nije rabljena silicijska prašina. Mješavina je sadržavala portland cement s dodatkom zgre ili leteceg pepela ili silicijske prašine, krupni i sitni agregat, aerant i superplastifikator. Vodocementni faktor nije prelazio 0,45. Posebnom odredbom zahtijevalo se, u skladu s testom prema ASTM C 1202, da prolaz naboja u kulonima bude manji od 1500 ili 1500 za prednapete, odnosno 2500 kulona za armiranobetonske rasponske konstrukcije. Izmjereni prolaz uvijek je bio manji od 2000 kulona za armiranobetonske rasponske konstrukcije. Za rasponske konstrukcije preko kojih se izravno odvija promet tražena je dodatna otpornost na ljuštenje i trošenje (habanje).

Prema izvješću, objavljenom u časopisu »Concrete International« [8], svi izvedeni mostovi, za sada, nemaju oštećenja i zadovoljavajuće se ponašaju te se očekuje njihova uporaba u predviđenom trajanju uz reducirane troškove održavanja. Predviđa se

Navedena je važnost primjene betona visokih svojstava u gradenju dugotrajnih i seizmički otpornih mostova. Ističe se, kao dobar primjer, izgradnja mostova u Sjedinjenim Američkim Državama od BVS, s ciljem da im se smanje troškovi održavanja i produži vijek trajanja. Dane su osnovne smjernice i podaci za poračun elemenata od BVS nepreznih savijanjem s uzdužnom silom i bez nje. Za osiguranje duktilnosti predlaže se ovijanje betonske jezgre u skladu s europskim normama.

### 1. Općenito

Mostovi su nezamjenjivi segmenti u državnoj i svakoj drugoj prometnoj mreži. Izloženi su većim dijelom uporabnog vijeka survojom okolišu i opetovanom dinamičkom opterećenju. Armiranobetonski i prednapeti mostovi, osobito u posljednjih desetak godina, doživljavaju znatna fizikalno-kemijska i mehanička oštećenja koja se moraju neprestano popravljati, bez obzira na cijenu koja je često vrlo visoka, a ponekad i nedostajno uspješna. Propadanje mostova nije problem samo naše države, već svih zemalja, osobito pomorskih i industrijski razvijenih. Troškovi održavanja postaju tako veliki da se, u nekim državama, postavlja pitanje: »Graditi li ne armiranobetonske i prednapete mostove?»

Danas postoji velik prijedlog za produženje vijeka trajanja armiranobetonskih i prednapetih mostova. Jedan od takvih prijedloga je gradeenje rasponske konstrukcije od betona visokih svojstava (BVS), pa čak i popora. Gradeenje armiranobetonskih stupova mostova od BVS razumno je i onda kada se u njima predvideju plastični zglobovi sposobni za apsorpciju seizmičke energije. Za trajnost mosta bitno je svojstvo nepropusnost betona, a gradeenje seizmički otpornih mostova čvrstoća i deformabilnost.

Definicija betona visokih svojstava ima više. Navode se samo dvije novije i autoru rada poznate:

Američki institut za beton (ACI) ili, točnije, njegov Pokomiteet za beton visokih performanci (HPC) [9] nedavno je predložio novu definiciju koja glasi: »Beton visokih svojstava je onaj u kojemu su s jednjena posebna svojstva u skladu s traženjem, a nije ih moguće postići standardnim sastavom i na uobičajen način izradbe, ugradbe i njega«.

U izvješću »State-of-the-Art« iz 1996. godine [9], P. Zia definira da je BVS kao svaki beton koji zadovoljava propisana svojstva, a koja premašuju ona za uobičajeni (normalni) beton.

Najčešće tražena visoka svojstva betona za mostove su: nepropusnost ili, točnije, malo prodiranje klorid iona, a s time u svezi trajnost te čvrstoća, gustoća i druga mehanička svojstva, kom-



i nadalje graditi mostove ili samo rasponske konstrukcije betonom visokih performansi.

### 3. Proračun elemenata od betona visokih svojstava

U ovom radu predložiti će se rezultati teoretskih i eksperimentalnih istraživanja te prijedlozi propisa potrebni za proračun armiranobetonskih i prednapetih mostova od BVS. Očiti istraživanja bio je promatranje glavnih parametara koji utječu na ponašanje BVS konkretnije na dijagram napon-deformacija, potreban za proračun elemenata po metodi graničnih stanja nosivosti, te onih koji pridonose duktilnosti presjeka i konstrukcije, vrlo važnog svojstva za građenje armiranobetonskih konstrukcija u potresnim područjima.

Uz promatranje potrebnih parametara i prijedloga proračuna konstrukcija od BVS, studije su vrlo često obuhvatale razlike i sličnosti dobivenih rezultata s onima, već poznatim, dobivenim istraživanjem betona normalne čvrstoće (BNC), kako bi se mogli primjenjivati aktualni propisi, uz dopune i prilagodbe, i za konstrukcije od betona visokih svojstava.

Pri proračunu mostova na sile potresa, općenito je prihvaćena filozofija proračuna duktilnih armiranobetonskih konstrukcija na reduiranje inercijalne sile.

Kod gređenih armiranobetonskih i prednapetih mostova redovito se predviđa stvaranje plastičnih zglobova u stupovima, kako bi se sačuvala rasponska konstrukcija od oštećenja i osigurao kontrolirani i nesmetan promet za vrijeme i neposredno poslije djelovanja potresa.

Nedostatak mehanizma s plastičnim zglobovima u stupovima očituje se u poteškoći ostvarivanja dostatne duktilnosti i njima zbog prisutnosti relativno velike uzdužne sile. Taj se problem rješava uporabom betona visoke čvrstoće, tlačnog armaturnog i ovijanjem betonske jezgre poprečnom armaturom u obliku zatvorenih spona ili spirale.

Beton visokih svojstava u kojem tlačna čvrstoća zauzima visoko mjesto dobro će doći u gradnju seizmički otpornih mostova. Stoga će se ovdje dati potrebni izrazi za proračun armiranobetonskih stupova mostova od BVS te za osiguranje dostatne duktilnosti potrebne za disipaciju seizmičke energije.

Matematički izraz za dijagram napon-deformacija za BNC postavio je 1973. godine Popovitz, a prilagodili su ga za BVS, uvođenjem čimbenika »k« i »n«, Thorenfeldt, Tomaszewicz i Jensen [6]:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cu}} \cdot n - 1 + (\epsilon_c / \epsilon_{cu})^n \cdot k \quad (1)$$

gdje je:

- $\sigma_c$  – napon u betonu
- $f_{ck}$  – karakteristična tlačna čvrstoća dobivena ispitivanjem valjaka
- $\epsilon_c$  – deformacija betona
- $\epsilon_{cu}$  – granična deformacija betona koja odgovara čvrstoći  $f_{ck}$
- Izrazi za koeficijente »k« i »n« dani su Dollins, Porasz i Mitchell [6]:

$$k = 1.0 \text{ za } \epsilon_c / \epsilon_{cu} < 1.0$$

$$k = 0.67 + f_{cd} / 62 \text{ za } \epsilon_c / \epsilon_{cu} > 1.0$$

$$n = 0.8 + f_{cd} / 17 \text{ (} f_{ck} \text{ u N/mm}^2 \text{)}$$

Deformacija betona za granično stanje bit će:

$$\epsilon_{cu} = \frac{f_{ck}}{E_c} \cdot \frac{n}{n-1} \quad (2)$$

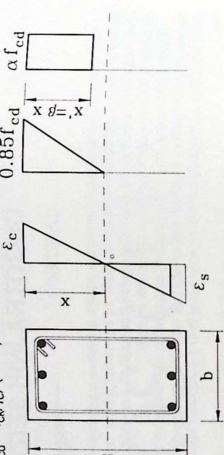
gdje je:

$$E_c = 3320 \cdot \sqrt{f_{ck}} + 6900 \text{ – modul elastičnosti BVS}$$

Računski dijagram napon-deformacija za BVS dobije se lako da se karakteristična tlačna čvrstoća ( $f_{ck}$ ) podijeli s koeficijentom sigurnosti za beton ( $\gamma_b$ ) i prema prijedlogu Collinsa, Mitchella i Mac Gregora reduira faktorom:

$$\alpha = 0.6 + \frac{10}{f_{ck}} \leq 0.85 \quad (3)$$

Osim krivočertnoga računskog dijagrama dobivenog s pomoću izaza (1), (2) i (3), mogući su i oni u obliku trokuta i pravokutnika ( $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$  (sl. 1)).



Slika 1. Dijagram deformacija i računskih tlačnih napona u betonu

Za betone tlačne čvrstoće 70 N/mm<sup>2</sup> i više, te za elemente naprezane savijanjem bez uzdužne sile, predlaže se rabiti trokutasti dijagram, s tim da se za koeficijent redukcije uzme  $\alpha=0.85$ .

Na osnovi vlastitih istraživanja i rezultata drugih znanstvenika, Ibrahim i Mac Gregor [6] predlažu sljedeće parametre za definiranje računskog dijagrama tlačnih napona u obliku pravokutnika:

$$\alpha = (0.85 - 0.00125 f_{ck}) \geq 0.725 \quad (4)$$

$$\beta = (0.97 - 0.0025 f_{ck}) \geq 0.700 \text{ (} f_{ck} \text{ u N/mm}^2 \text{)} \quad (5)$$

Izraz za minimalni koeficijent armiranja uzdužnom armaturom u elementima naprezanim savijanjem s tlačnom silom i bez nje, dan za BNC, nije primjenjiv za stupove od BVS.

Američkim propisima ACI 363 [4] predlaže se izraz, primjeren za BVS, u funkciji kakvoće betona i čelika u obliku:

$$\rho_{1min} = 0.224 \cdot \frac{f_{ck}}{f_y} \quad (6)$$

gdje je:

- $f_y$  – granica popuštanja čelika
- Duktilnost konstrukcije izražava se preko koeficijenta duktilnosti koji predstavlja omjer pomaka:

$$\mu_d = d_u / d_y \quad (7)$$

gdje je:

- $d_u$  – granični pomak
- $d_y$  – pomak kada čelik u vlačnoj zoni dosegne granicu popuštanja

Provjera duktilnosti presjeka u području plastičnog zgloba, prema europskim normama Eurocode 8 [1] [2], provodi se preko koeficijenta duktilnosti koji predstavlja omjer granične zakrivljenosti i one kada čelik počne popuštati:

$$\mu_c = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{syk}} \cdot \frac{1 - \epsilon_{sy}}{\epsilon_{cu}} \quad (8)$$

gdje je:

- $\epsilon_{syk}$  – deformacija čelika koja odgovara karakterističnoj granici popuštanja
- $\epsilon_{cu}$  – deformacija betona koja odgovara naponu  $\alpha \cdot f_{ck}$  na padajućoj grani dijagrama  $\sigma - \epsilon$
- $\xi_{cu}$  – koeficijent položaja neutralne osi kada napon u betonu doseže veličinu  $\alpha \cdot f_{ck}$  na padajućoj grani
- $\xi_{sy}$  – koeficijent položaja neutralne osi kada napon u čeliku doseže granicu popuštanja

Odnos koeficijenta duktilnosti preko pomaka i onoga preko zakrivljenosti u području plastičnog zgloba stupa mosta, sustava krovnlaza, upetog u temelj, iznosi:

$$\eta_c = \frac{1 + (\mu_s - 1)}{3\lambda(1 - 0.5\lambda)} \quad (9)$$

gdje je:

$$\lambda = L_p / L$$

$$L_p = 0.8 L + 0.022 D_s f_y \text{ ili}$$

$$L_p = (0.4 + 0.6)h \text{ – duljina plastičnog zgloba}$$

$$L \text{ – duljina stupa}$$

$$h \text{ – visina presjeka}$$

$$D_s \text{ – promjer uzdužne armature u m}$$

$$f_y \text{ – granica popuštanja uzdužne armature u N/mm}^2$$

Kada u području plastičnog zgloba računska uzdužna sila za seizmičku kombinaciju djelovanja ( $N_{Ed}$ ), odnosno njena bezdimenzijska vrijednost ( $\eta_k$ ) prekorači graničnu:

$$\eta_k = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{ck}} > 0.08 \quad (10)$$

potrebno je stup mosta uzduž plastičnog zgloba i iznad njega za pola njegove duljine oviti poprečnom armaturom, kako ne bi došlo do krhkog sloma prije nego što napon u glavnoj armaturi dosegne granicu popuštanja.

Količina poprečne armature za ovijanje dobije se preko mehaničkog koeficijenta armiranja:

$$\omega_{wd} = \rho_w \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (11)$$

gdje je:

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_0) \text{ – koeficijent armiranja za pravokutni presjek}$$

$$A_{sw} \text{ – površina svih grana spona za ovijanje presjeka u jednom smjeru}$$

$s$  – razmak spona uzduž osi stupa

$b_0$  – dimenzija betonske jezgre mjerena okomito na promatrani smjer spona (vanjska dimenzija obuhvatne spona)

$$f_{yd} = f_y / 1.15 \text{ – računska granica popuštanja}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / 1.5 \text{ – računska čvrstoća betona}$$

Za ovijanje presjek minimalni mehanički koeficijent armature za ovijanje u obliku zatvorenih spona i onih za propilanje presjeka određuje se po izrazu:

$$\omega_{wd,r} \geq 1.74 \cdot \frac{A_c}{A_{cc}} \cdot (0.009 \mu_c + 0.17) \cdot \eta_k - 0.07 \geq \omega_{w,min} \quad (12)$$

gdje je:

$$A_c \text{ – površina betonskog presjeka}$$

$$A_{cc} \text{ – površina betonske jezgre stupa}$$

$$\mu_c \text{ – koeficijent duktilnosti presjeka – izraz (8)}$$

$\omega_{w,min}$  – minimalna vrijednost mehaničkoga koeficijenta armiranja

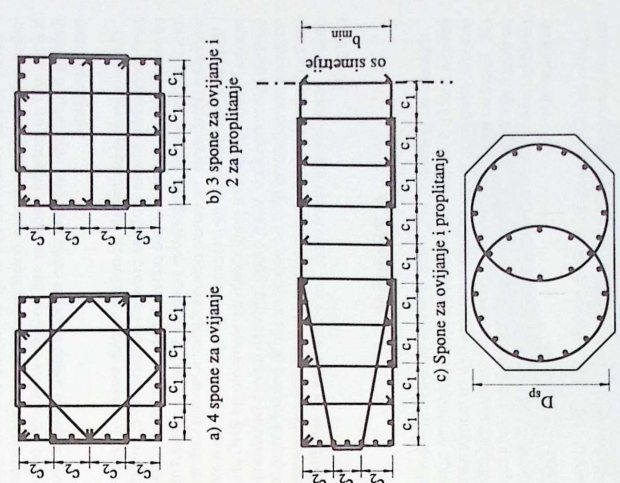
Minimalna vrijednost za  $\mu_c$  i  $\omega_{w,min}$  ovisi o duktilnosti, odnosno o koeficijentu ponašanja:

- za duktilno ponašanje mosta ( $q=3.5$ ):  $\mu_c=13$ ,  $\omega_{w,min}=0.12$
- za ograničeno duktilno ponašanje mosta ( $q=1.5$ ):  $\mu_c=7$ ,  $\omega_{w,min}=0.08$ .

Izraz za minimalni mehanički koeficijent armiranja (12) primjenjiv je za stupove mosta od betona karakteristične tlačne čvrstoće  $f_{ck} \leq 55 \text{ N/mm}^2$ .

Za stupove od betona čvrstoće veće od 55 N/mm<sup>2</sup>, za sada, nema sličnog izraza za proračun armature za ovijanje. Međutim, za stupove naprezane ekscentričnom tlačnom silom od BVS provedena su eksperimentalna i teoretska istraživanja [5] [6], kako bi se dobili mjerodavni parametri koji utječu na djelovornost ovijanja, odnosno da se dokaže kako su ti parametri isti ili slični onima kada se rabi BNC. Variirana je čvrstoća betona, razina uzdužne sile, razmještaj uzdužne i poprečne armature, količina te granica popuštanja spona za ovijanje. Utvrđeni su bitni parametri te potvrđena njihova sličnost s onima pri ovijanju stupova od BNC. Predlaže se, stoga, primjenjivati izraz (12) za određivanje minimalne poprečne armature za ovijanje stupova od BVS.

Primjeri za armiranje stupa mosta u području plastičnog zgloba (redovito je to u podnožju stupa) nalaze se na slici 2.



Slika 2. Primjeri ovijanja betonske jezgre sponama ili spiralama

Horizontalni razmaci između grana spona »c« ne smiju prelaziti 1/3 manje dimenzije betonske jezgre, niti 35 cm.



Minimalna količina poprečne armature mora također zadovoljiti uvjet kojim se osiguravaju uzdužne šipke od lokalnog izvijanja. Propisima Europske unije EC8/2 [2] bit će:

$$A_{t,s} / s = 1,6 \frac{f_{ts}}{f_{yt}} \quad (\text{mm}^2/\text{m}) \quad (13)$$

gdje je:

- $A_t$  – površina jedne grane spona u  $\text{mm}^2$
- $s$  – razmak spona uzduž osi stupa u m
- $\Sigma A_s$  – ukupna površina uzdužne armature, pridržane sponom površine  $A_p$  u  $\text{mm}^2$
- $f_{yt}$  – granica popuštanja spona
- $f_{ts}$  – granica popuštanja uzdužnih šipki

Zbog velike vjerojatnosti opadanja zaštitnog sloja u području plastičnog zgloba, sidrenje armature za ovijanje treba biti djelotvorno. To se postiže kukama koje obuhvaćaju uzdužnu armaturu (sl. 2). U području zgloba nije dopušteno nastavljanje armature preklapanjem.

Gotovo sva istraživanja potvrđuju da se povećanjem čvrstoće betona smanjuje njegova duktilnost. Ispitivanja su pokazala da se duktilnost može smanjiti za približno 25 posto kada se, umjesto betona čvrstoće 54 N/mm<sup>2</sup>, rabi onaj čvrstoće 101 N/mm<sup>2</sup>.

Betoni visokih svojstava, iako imaju smanjene elastične i plastične deformacije, pridonose duktilnosti presjeka i konstrukcije. Naime, oni su poželjni kada se želi spriječiti krhki lom preko tlačnog betona prije nego što vlačni napon u čeliku dosegne granicu popuštanja.

Dimenzioniranje elemenata od betona visokih svojstava naprednih poprečnih silama može se provoditi po standardnoj metodi po kojoj jedan dio poprečne sile prihvaća beton i uzdužna armatura i nakon razvoja dijagonalnih pukotina u betonu. Međutim, teoretska istraživanja, na osnovu pokusa Kania, a kasnije Collinsa i Vaghita, pokazala su da se izrazima za prognoziiranje nosivosti betona i drugih čimbenika predloženi za elemente od BNC, mjenjaju njihov doprinos. Valja, stoga, provesti daljnja istraživanja nosivosti elemenata od BVS na poprečne sile te predložiti novi izraz za doprinos betona i drugih faktora ukupnoj nosivosti elemenata na poprečne sile ili postojeći, koji vrijedi kada se rabi BNC, prilagoditi.

#### 4. Zaključak

Mostovi su građevine vrlo često izložene agresivnom okolišu (blizina mora) ili surovij klimi te opetovanom i nemirnom opterećenju, zbog čega mogu doživjeti oštećenja koja se moraju sanirati. Popravci armiranobetonskih i prednapetih mostova najčešće su dugotrajni i skupi, a karkada i nedovoljno uspješni. Zbog toga treba rješavanja da se oštećenja mostova smanje i da im se produži uporabni vijek.

Jedna od mogućnosti gradnje dugotrajnih seizmički otpornih armiranobetonskih mostova jest primjena betona visokih svojstava.

Istraživanja su pokazala da su BVS otporni na prodiranje škodljivih otopina, pa time i na razvoj korozije čelika, alkalno-agregatne reakcije, smrzavanje i odmrzavanje te trošenje, što su sve bitni parametri za trajnost konstrukcije. S druge strane, betoni visokih svojstava, uz nepropusnost, imaju i visoku tlačnu čvrstoću, što je poželjno za gradnju mostova u seizmički aktivnim područjima. Iako betoni visokih svojstava, sami po sebi, imaju redu-

ciran duktilnost, oni kao komponentni materijal u armiranom betonu pridonose duktilnosti presjeka i konstrukcije u cjelini. Visoka čvrstoća betona, a pogotovo onoga ovijenoj armaturom, omogućit će dosezanje granice popuštanja u glavnoj vlačnoj armaturi, a time i trošenje seizmičke energije na glavnom području prije nego dolje do drobljenja betona u tlačnom području presjeka. Zahvaljujući duktilnosti armiranobetonskih stupova mostova, moguć je njihov proračun na reducirane sile potresa u skladu s normama, što izravno pridonosi racionalnosti gradnje.

U Sjedinjenim Američkim Državama počela je uporaba betona visokih svojstava u gradnji mostova s ciljem da se reduciraju oštećenja izazvana agresivnošću okoliša te produži vijek njihove uporabe. Do sada izgrađeni mostovi zadovoljavajuće se ponašaju i odolijevaju oštećenjima te se planira daljnja i masovna primjena BVS u gradnji armiranobetonskih i prednapetih mostova.

Za proračun i konstruiranje armiranobetonskih mostova mogu se primjenjivati metode i postupci koji se rabe za mostove od betona normalne čvrstoće, s tim da valja rabiti prilagođeni računski dijagram tlačnih napona te predložiti izraz za minimalnu armaturu. Osiguranje i provjera duktilnosti može se također provoditi uporabom metoda i izraza koji se primjenjuju za mostove od BNC.

Uporaba betona visokih svojstava u nas je zanemarljivo mala, što se ne može opravdati. Iako više što se u zemlji mogu nabaviti sve komponente za izradbu BVS, te zbog toga što se mnogo mostova gradi u blizini mora.

Primjenom betona visokih svojstava u gradnji mostova postigla bi se, prije svega, povećana trajnost i otpornost na sile potresa, a potom racionalnost i estetski izgled. Predlaže se, stoga, njegova primjena i u nas, osobito u gradnji mostova i sličnih konstrukcija u agresivnoj sredini.

#### LITERATURA

- [1] Eurocode 8, Structures in Seismic Regions-Design, Part 1.1, Part 1.2, Part 1.3, April 1993.
- [2] Eurocode 8, Structures in Seismic Regions-Design, Part 2, Bridges, April 1994.
- [3] ACI Committee 318-95, Building Code Requirements for Structural Concrete, October 1996.
- [4] ACI Committee Report 441 R-96: High-Strength Concrete Columns: State of the Art, ACI Structural Journal, Vol. 94, No. 3, May-June 1997, 323-335.
- [5] S. R. Razvi, M. Saacioglu, Strength and Deformability of Confined High-strength Concrete Columns, ACI Structural Journal, Vol. 91, No. 6, November-December 1994, 678-687.
- [6] M. P. Collins, D. Mitchell, J. G. Mac Gregor, Structural Design Considerations for High-Strength Concrete, Concrete International, Vol. 15, No. 5, May 1993, 27-34.
- [7] C. H. Goodspeed, S. Vanikar, R. Cook, High-Performance Concrete Defined for Highway Structures, Concrete International, Vol. 18, No. 2, February 1996, 62-67.
- [8] H. G. Russell, ACI Defines High-Performance Concrete, Concrete International, Vol. 21, No. 2, February 1999, 56-57.
- [9] J. A. Moore, High-Performance Concrete for Bridge Decks, Concrete International, Vol. 21, No. 2, February 1999, 58-59.
- [10] I. Tomićić, Nosivost i duktilnost armiranobetonskih elemenata od betona visokih svojstava, Građevinar 50 (1998) 8, 449-455.
- [11] I. Tomićić, Betonske konstrukcije – odabrana poglavlja, Građevinski fakultet, Zagreb 1996.

#### SUMMARY

UDC 624.21/8519.876.5  
Review

#### Application of High Characteristics Concrete at Construction of Long Duration Seismically Resistant Bridges

The importance of high characteristics concrete application at long duration and seismically resistant bridges construction has been cited. As a good example the construction of such bridges in the United States, in order to diminish the maintenance costs and to prolong the duration life of bridges have been stressed given are the basic procedure and the data for the elements construction of HCC strained by bending with the longitudinal forces and without them. For the ductility protection the bandaging of the concrete core in the harmonizing with the European rules is suggested.



Nadvoznjak na autocesti Zagreb-Varaždin-Goričan



Dr. sc. Juraj PADJEN, dipl. oec.  
Ekonomski institut, Zagreb

## HRVATSKI POLOŽAJ I INTERES U PROMETNOM POVEZIVANJU PODUNAVLJA I JADRANA

### SAŽETAK

*Prednosti geografsko-prometnog položaja Hrvatske proučavajući iz činjenice što preko njenog prostora prolaze važne prometne veze, od kojih posebno značenje pripada vezi između Podunavlja i Jadrana. Hrvatski interes za uspostavljanje dobre prometne veze između ta dva područja proizlazi iz potrebe povezivanja dva hrvatska nacionalna prostora – posavsko-podunavskog i jadranskog – te iz potrebe i korisnosti uključivanja Hrvatske u posredničku ulogu između panonskog i mediteranskog područja. Radi ocjene hrvatskog položaja i interesa u prometnom povezivanju Podunavlja i Jadrana u radu se razmatraju tri pitanja: (1) posrednička uloga Hrvatske u ovom dijelu europskog prostora te utjecaj novijih političkih i ekonomskih promjena na tu ulogu, (2) europska prometna politika i europski interes za prometni položaj Hrvatske i (3) hrvatski pristup prometnom povezivanju Podunavlja i Jadrana.*

veoma izražena i mnogo je pridonosila njenom gospodarskom napretku. Međutim, neka zbivanja u godinama poslije Drugoga svjetskog rata nisu išla tome u prilog. To se prije svega odnosi na politička zbivanja i međublokovske odnose u širem europskom prostoru koji su imali za posljedicu da je sve dometavno transportno tržište u Europi bilo determinirano s dva različita i međusobno konfrontirajuća društveno-gospodarska sustava, tj.

– sustavom slobodne tržišne ekonomije

– sustavom centralno-planske ekonomije.

U isto vrijeme, to je tržište bilo determinirano mjerama ekonomske i prometne politike među onim zemljama koje su pripadale istom društveno-gospodarskom sustavu, što je još više otežalo povezanost europskoga transportnog tržišta.

Za europski je prometni sustav u drugoj polovici ovoga stoljeća posebno značajno da se je nepunih pedesetak godina razvijao odvojeno te da je za sve to vrijeme djelovao poput dva posve zatvorena prometna sustava. Jedan je činio, uvjetno rečeno, prometni sustav Zapadne Europe, a drugi prometni sustav istočne Europe. Unutar svakog od tih sustava razvoj je prometa, pa i prometne mreže, bio koncipiran po kriteriju zadovoljavanja vlastitih privrednih potreba i adekvatnog razvoja prometne mreže. Međusobno povezivanje tih sustava i usklađivanje njihovog rada bilo je svedeno na najnužniju mjeru.

Osobito krutu autarkičnu prometnu politiku vodile su zemlje istočne Europe, odnosno zemlje bivšeg Vijčea za međusobnu ekonomsku pomoć (SEV), od kojih su neke bile neposredni susjedi Hrvatske ili su se nalazile u njenom gravitacijskom području. Izgradnjom i modernizacijom zasebne prometne mreže, napose željeznice i plovnih putova, zatim tarinoma, carinskom i drugim sličnim mjerama, uključujući i administrativne mjere, međunarodnu se i prekomorsku trgovinu tih zemalja uporno usmjerivalo na prometnu mrežu, prijevozna sredstva i morske luke zemalja SEV-a. Slična je politika vodena i na drugim područjima kretanja putnika, robe, usluga i informacija, pa je međunarodni promet s drugim zemljama sveden na najmanju moguću mjeru. U takvim okolnostima izostale su ozbiljnije akcije na održavanju i modernizaciji postojećih te izgradnji novih prometnica između zemalja zapadne i istočne Europe.

U tom je pogledu osobito značajno da se je cijelovodni transport nafta, premda novi oblik teretnog prijevoza u Europi, teritorijalno razvijao kao dva posve odvojena sustava (sl. 1.), jedan za zemlje zapadne i drugi za zemlje istočne Europe, i bez ikakve međusobne veze među njima. Svojevrsni izuzetak od tog pravila bilo je postojanje odvojka tzv. Jugoslavenskog natkrova na trasi (Sisak) Popovača–Vrje, ali se i njima u vrijeme jake blokovske

### 1. Posrednička uloga Hrvatske i utjecaj novijih političkih i ekonomskih promjena na tu ulogu

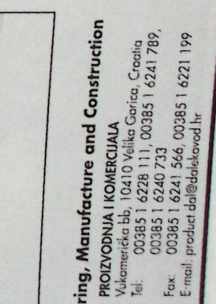
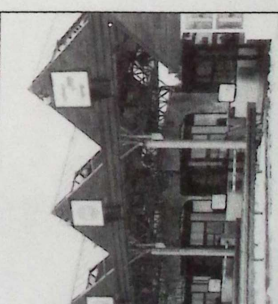
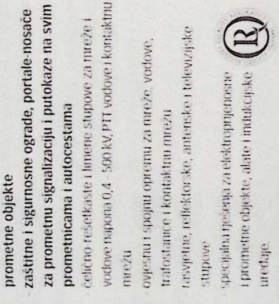
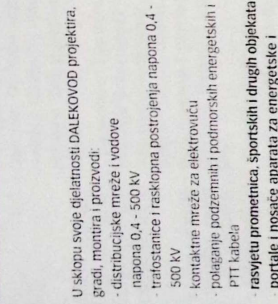
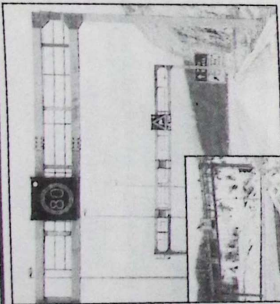
Zanavljajući svom osebnijom zemljopisnom položaju, Hrvatska posjeduje četiri prostorno-smještajne osobitosti koje joj u europskom prostoru daju svojevrsnu ulogu. Ona je, po riječima Dugačkog (1942.), u isto vrijeme i panonska i jadranska, peripatka i balkanska zemlja. Taj raznolik i dioben, a u isto vrijeme međašnji i spojni značaj Hrvatske postavlja posebne zahtjeve u vodenju nacionalne prometne politike, kako bi maksimizirala prednosti, a minimizirala slabosti toga svog položaja.

Posebno je važno istaknuti kako temeljne prednosti zemljopisno-prometnog položaja Hrvatske proučavajući iz činjenice što preko njenog prostora vode važne prometne veze iz prekomorskih zemalja do triju srednjoeuropskih metropola – Beča, Bratislave i Budimpešte – te iz dijela Srednje Europe do morskih luka na sjevernom i srednjajadranskom primorju. Činjenica pak da se taj panonsko-jadranski prometni put ukrštava na prostoru Hrvatske s drugim važnim putem što iz Zapadne i Srednje Europe vodi prema zemljama jugoistočne Europe i Bliskog istoka daje prednost razviku onih gospodarskih djelatnosti kod kojih je promet temeljni čimbenik smještaja i gospodarskog razvika.

Povezivanje podunavskog i jadranskog područja od dvostrukog je hrvatskog interesa. Prvi proizlazi iz potrebe povezivanja dvaju hrvatskih nacionalnih prostora – posavsko-podunavskog kao dijela panonskog područja i jadranskog kao dijela širega mediteranskog područja. Drugi interes proizlazi iz potrebe i korisnosti uključivanja Hrvatske u posredničku ulogu između panonskog i mediteranskog područja. Prvi, dakle, razlog ima nacionalno-političko i ekonomsko, a drugi pretežitno ekonomsko značenje.

U određenim je povijesnim okolnostima posrednička uloga Hrvatske u povezivanju panonskog i mediteranskog područja bila

# DALEKOVOD



U sklopu svoje djelatnosti DALEKOVOD projektira, gradi, montira i proizvodi:

- distribucijske mreže i vodove napona 0,4 - 500 kV
- transformance i raspkopna postrojenja napona 0,4 - 500 kV
- kontaktne mreže za elektrovičnu polaganje podzemnih i podzemnih energetskih i PTT kabela
- rasvjetu prometnica, sportskih i drugih objekata
- portale i nosače aparata za energetske i prometne objekte
- prometne objekte
- zaštitne i sigurnosne ograde, portale-nosače za prometnu signalizaciju i putokaze na svim prometnicama i autocestama
- celično i rešetkaste i limene stupove za mreže i vodove napona 0,4 - 500 kV PTT vodove i kontaktne mreže
- općeniti i specijalni opremu za mreže, vodove, transformance i kontaktne mreže
- razvijene, reflektirane, automatske i teleskopske stupove
- specijalna postrojenja za električnu i mehaničku i prometne objekte, alate i montažijske uređaje



**DALEKOVOD d.d.**  
**Electric Power Company for Engineering, Manufacture and Construction**

GLAVNI URED  
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia  
Tel: 00385 1 6170 447  
Fax: 00385 1 6170 450

PROIZVODNIA I KOMERCIALNA  
Vukomerička bb, 10410 Velika Gorica, Croatia  
Tel: 00385 1 6228 111, 00385 1 6241 789,  
00385 1 6240 733  
Fax: 00385 1 6241 566, 00385 1 6221 199  
E-mail: product\_d@dalekovod.hr