

## METALNE KONSTRUKCIJE

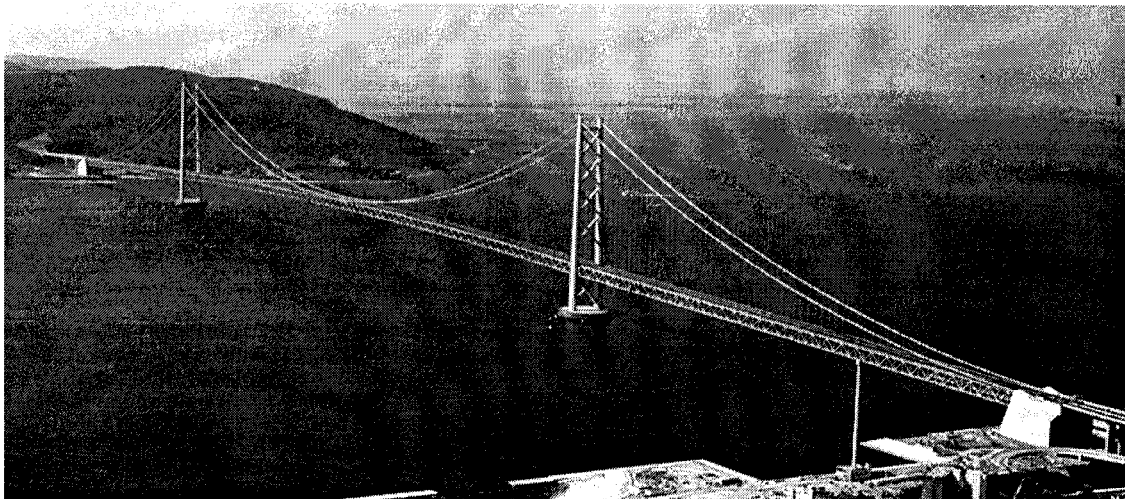
Zlatko MARKOVIĆ

Generalni izveštaji i prikaz radova  
UDK: 691.07-405+692.07.004.1"312" = 861

### 1. UVOD

Poslednjih godina primena metalnih konstrukcija u građevinarstvu beleži primetnu ekspanziju. Ona je, nažalost, primetnija u razvijenom svetu nego kod nas. Početkom novog milenijuma ostvaren je niz impozantnih graditeljskih poduhvata u ovoj, slobodno se može reći,

elitnoj građevinskoj disciplini. Među njih svakako spadaju svetski rekorderi u pogledu raspona i visine. To su viseći most Akaši Kaikio u Japanu maksimalnog raspona 1990 m i ukupne dužine od oko četiri kilometra, kao i neboder Tajpej 101 u Tajvanu ukupne visine 509 m.



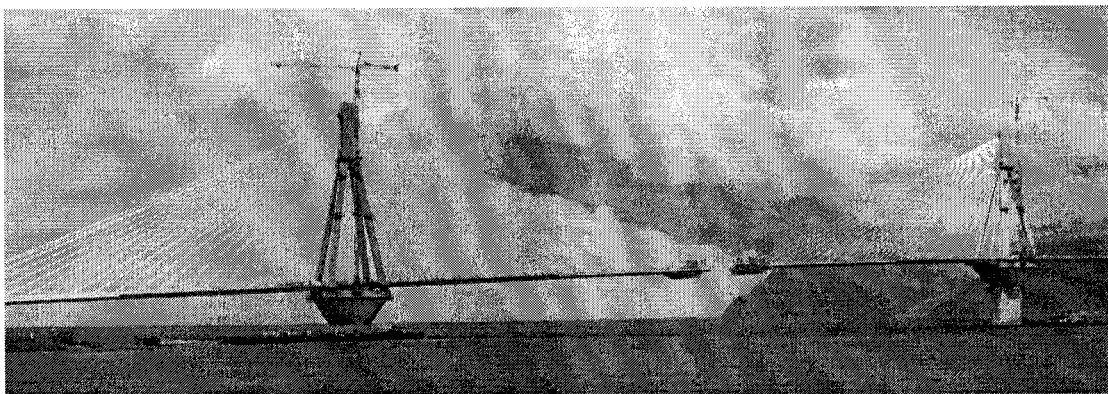
Slika 1. Most Akaši Kaikio

U Evropi se među najznačajnija graditeljska ostvarenja poslednjih godina svakako mogu ubrojati drumski most Rio-Antirio u Grčkoj (završen 2004.) i vijadukt Mijo u Francuskoj (završen 2005.).

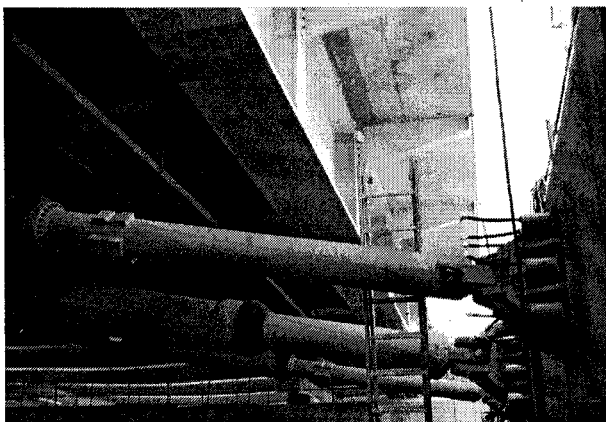
Vekovni san grčkog naroda o vezi zapadnog dela Peloponeza sa kopnom ostvaren je 2004. godine kada su završeni radovi na mostu Rio-Antirio, investiciji vrednoj 630 miliona evra. Ovaj drumski most ukupne dužine 2883 m, maksimalnog raspona 560 m izveden je

u izuzetno "surovom" okruženju, na mestu tektonske razdelnice sa mogućim diferencijalnim, horizontalnim i vertikalnim pomeranjima od 2,0 m i seizmičkim ubrzanjem tla od 0,48 g. Pored toga dubina mora na mestu prelaska je čak 65 m, a tlo na morskome dnu je veoma loše nosivosti (naslage mulja). Ovaj most predstavlja pravi inženjerski podvig zbog niza specifičnih rešenja počev od fundiranja (armiranje tla pobijanjem čeličnih šipova ispod temelja budućih stubova), preko načina gradnje armiranobetonskih temelja i pilona, pa sve do hidrauličnog oslanjanja glavnih nosača, radi smanjenja seizmičkih uticaja i kompenzacije potencijalnih tektonskih pomeranja.

Adresa autora:  
Doc. dr Zlatko Marković  
Institut za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta u  
Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd



*Slika 2. Most Rio-Antirio pred završetak montaže*



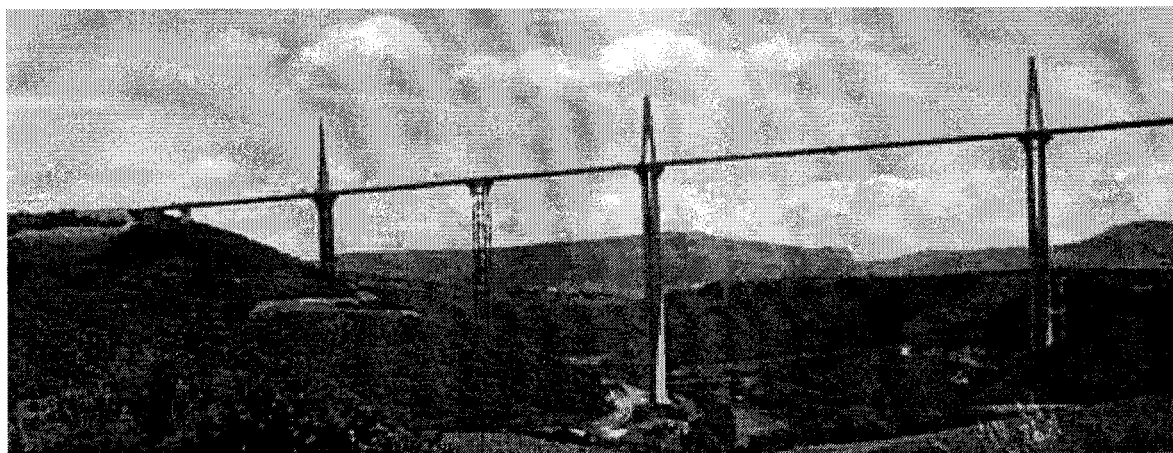
*Slika 3. Hidraulički oslonci kod pilona*

Vijadukt Mijo preko reke Tarn na putu A75 Pariz - Barcelona je još jedno impozantno ostvarenje. Ovaj čelični most sa kosim kablovima ima trenutno najviše stubove na svetu (343 m), a drumski saobraćaj se odvija 270 m iznad nivoa reke. Takođe treba pomenuti da je

ovaj objekat vredan 530 miliona dolara završen za nešto više od tri godine (39 meseci).

Ostvarenja poput ovih svakako ne bi bila izvodljiva bez odgovarajuće podrške koja se ogleda, pre svega, u savremenoj operativi, novim tehnologijama u oblasti materijala i proizvoda, zatim u odgovarajućim specijalizovanim softverima za projektovanje i praćenje konstrukcija tokom izvođenja, kao i u savremenoj regulativi, odnosno propisima.

Većina značajnijih objekata u Evropi poslednjih godina projektovana je prema evropskim predstandardima - Evrokodovima za konstrukcije. U poslednje dve godine jedan, značajan broj ovih predstandarda (ENV) je, nakon perioda usaglašavanja i usavršavanja, u manje ili više izmenjenom izdanju usvojen kao zvaničan evropski standard (EN) i sve zemlje članice CEN su u obavezi da publikuju identičan prevod teksta na nacionalni jezik, ili formalno odobre dokument (standard) na jednom od tri zvanična jezika CEN-a (engleski, francuski i nemački), najkasnije do kraja 2005. godine. Osim toga, svi konfliktni nacionalni standardi u državama članicama CEN moraju biti stavljeni van snage najkasnije do marta 2010. godine.



*Slika 4. Vijadukt Mijo*

Novi Evrokod 3 Deo 1-1, koji je maja meseca ove godine usvojen kao zvaničan evropski standard (EN1993-1-1: 2005), donosi niz promena u odnosu na predstandard (ENV 1993-1-1: 1992). Ove promene nisu samo organizacione prirode, obzirom da je izvršena

reorganizacija sadržaja Evrokodova za čelične konstrukcije (EC3), već se one u znatnoj meri odnose i na principe proračuna.

Evrokod 3 Deo 1 (EN 1993-1) spada u grupu osnovnih, bazičnih standarda za proračun čeličnih kon-

strukcija, na koji se pozivaju svi ostali delovi Evrokoda 3 koji tretiraju specifične probleme vezane za posebne vrste konstrukcija ili materijala. Ovaj osnovni deo Evrokoda je, zbog izuzetno velikog obima (oko 700 strana), podeljen na dvanaest delova. Do sada je definitivno usvojeno pet delova i to:

- EN 1993-1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade,
- EN 1993-1-2: Proračun konstrukcija na dejstvo požara,
- EN 1993-1-8: Proračun veza,
- EN 1993-1-9: Nosivost čeličnih konstrukcija na zamor,
- EN 1993-1-10: Izbor čelika u pogledu žilavosti i svojstava po debljini.

Pored navedenih delova Evrokoda 3, krajem prošle godine, definitivno je usvojen i publikovan i Evrokod 4: Proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona - Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, koji se u velikoj meri oslanja na evrokodove za čelik.

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu u saradnji sa Jugoslovenskim društvom građevinskih konstruktora u sklopu svojih dugogodišnjih napora na uvođenju evrokodova za konstrukcije u našu tehničku regulativu, nastavlja svoje aktivnosti, ovoga puta uz podršku Evropske agencije za rekonstrukciju. U ovom ciklusu planirano je prevođenje nekoliko najvažnijih delova evrokodova za čelične i spregnute konstrukcije koji su do sada definitivno usvojeni kao evropski standardi:

- EN 1993-1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade,
- EN 1993-1-8: Proračun veza,
- EN 1994-1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade.

Nakon prevođenja, početkom proleća naredne godine u Univerzitetskim centrima Srbije i Crne Gore (Beograd, Novi Sad, Niš i Podgorica) održaće se Seminari na kojima će se stručna javnost detaljno upoznati sa pomenutim standardima i izmenama koje oni donose u odnosu na domaće standarde, ali i u odnosu na evropske predstandarde (ENV), koji su prethodnih godina prevedeni i objavljeni u ediciji Građevinskog fakulteta. Potom se predviđa usvajanje ovih evropskih standarda od strane Komisije Zavoda za standardizaciju Srbije i Crne Gore kao nacionalnih standarda i rad na donošenju nacionalnih aneksa, kao pratećih dokumenata za primenu evrokodova u nacionalnim okvirima.

## 2. PRIKAZ PRISPelih RADOVA IZ OBLASTI METALNIH KONSTRUKCIJA

Na XXIII Kongres i Simpozijum Jugoslovenskog društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija prispela su četiri rada čija tematika je vezana za oblast čeličnih i spregnutih konstrukcija. Tri rada su domaćih autora, a jedna rad su napisali autori iz inostranstva. Iako je broj radova skroman, njihov kvalitet je na zavidnom nivou, a izbor tema veoma interesantan. Evo i spiska prispelih radova i autora:

- "*Najnovija kretanja vezana za upotrebu kaljenih slobodno temperiranih toplo valjanih H greda*", autori: **Lucien Weber**<sup>1</sup> i **Louis-Guy Cajot**<sup>2</sup>

- "*Savremena dostignuća u čeličnim i spregnutim konstrukcijama - Eurosteel 2005*", autor: doc. dr **Nenad Marković**<sup>3</sup>, dipl. građ. inž.

- "*Proračun čvorova rešetkastih nosača od šupljih profila prema Evrokodu 3*", autor: **Jelena Dobrić**<sup>4</sup>, dipl. građ. inž.

- "*Savremen pristup proračunu i konstruisanju spregnutih međuspratnih ploča sa profilisanim limom*", autor: **Milan Spremić**<sup>5</sup>, dipl. građ. inž.

Za izradu objekata značajnih raspona kod kojih se javljaju izuzetno veliki uticaji, sve više se primenjuju čelici visokog kvaliteta, i to kako u pogledu mehaničkih karakteristika, kao što su čvrstoća na zatezanje i granica razvlačenja, tako i u pogledu otpornosti na krti lom, a posebno sa aspekta zavarljivosti. Duskora je zavarivanje limova velike debljine predstavljalo tehnološki problem pogotovo kada se radi o čelicima visokog kvaliteta (na primer S355) koji ima visoku vrednost ekvivalenta ugljenika (CE=0,45%). Međutim, u poslednje vreme ovaj problem se može rešiti primenom termomehanički valjanih čelika koji se dobijaju kaljenjem i samootpuštanjem (QST čelici - *Quenched and Self-Tempered steels*).

U svom radu "*Najnovija kretanja vezana za upotrebu kaljenih slobodno temperiranih toplo valjanih H greda*", autori Lucien Weber i Louis-Guy Cajot daju kratak prikaz proizvodnog programa Arcelora, evropskog giganta u oblasti proizvodnje vruće valjanih profila. Poseban akcenat se stavlja na HISTAR čelike visokog kvaliteta. Ovi čelici poseduju izuzetno visoke mehaničke karakteristike (S355, S420 i S460), granica razvlačenja se vrlo malo ili uopšte ne smanjuje kod limova velikih debljina, što je redovno slučaj kod konvencionalnih čelika, a pri tome relativno nizak ekvivalent ugljenika (CE≤0,39%) omogućava zavarivanje bez pregrevanja. Pored toga HISTAR čelici imaju i značajnu žilavost prilikom opita Šarpijevim klatnom. Standardne isporuke podrazumevaju energiju loma od 47J pri temperaturi od 0°C, s tim da se po potrebi mogu dobiti i u znatno boljem kvalitetu (27J na -50°C). Obzirom da cena ovakvih čelika nije bitno veća od konvencionalnih čelika (oko 5% skuplji od čelika S355), a smanjenje težine konstrukcije je značajno, njihova primena može da ima veoma pozitivne ekonomske efekte.

Trenutna zbivanja u oblasti čeličnih i spregnutih konstrukcija prezentovao je docent dr Nenad Marković u svom radu "*Savremena dostignuća u čeličnim i spregnutim konstrukcijama - Eurosteel 2005*". U ovom radu dat je detaljan prikaz aktivnosti sa četvrte evropske konvencije o čeličnim konstrukcijama koja je održana ove godine u Matrihtu u Holandiji. Iz rada se može zaključiti da su i na nivou Evrope evrokodovi tema broj jedan, jer je značajan deo materijala i diskusija bio posvećen upravo njima, odnosno dosadašnjim iskustvima u njihovoj primeni, izmenama u odnosu na predstandarde i njihovim posledicama, ali i o sledećim koracima u ovom velikom poduhvatu.]

Rešetkasti nosači izrađeni od šupljih profila kružnog, kvadratnog ili pravougaonog poprečnog preseka imaju sve veću primenu u savremenoj konstruktorskoj praksi. Osnovni razlozi leže u činjenicama da ovakvi nosači pru-

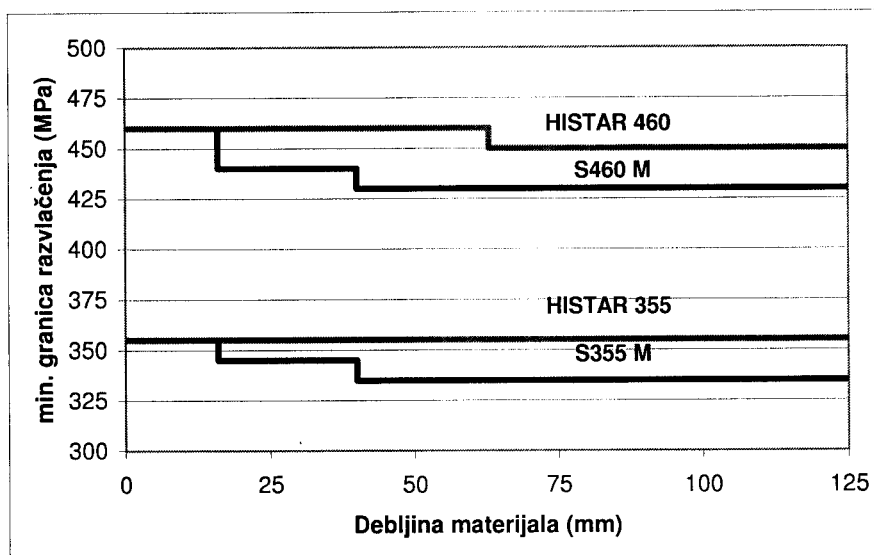
<sup>1</sup> Arcelor Section Comercial - Luxembourg,

<sup>2</sup> Profilarbed Research - Luxembourg,

<sup>3</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu,

<sup>4</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu,

<sup>5</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu



Slika 5. Promena granice razvlačenja u zavisnosti od debljine lima kod HISTAR čelika i konvencionalnih konstrukcionih čelika

žaju izuzetne mogućnosti konstrukcijskog oblikovanja uz racionalan utrošak čelika i odlične estetske efekte. Šupljii profili su vrlo ekonomični, pre svega kod elemenata napregnutih na pritisak i torziju zbog rasporeda mase čelika na periferiji preseka, zbog čega se može postići ušteda u materijalu i do 25% u zavisnosti od tipa konstrukcije. Zbog manjeg obima poprečnog preseka u odnosu na klasične valjane profile otvorenog poprečnog preseka, manja je površina izložena uticajima korozije pa je i jeftinija antikoroziona zaštita. Mali aerodinamički koeficijent kod rešetkastih konstrukcija koje su na otvorenom prostoru značajno smanjuje uticaj vetra u poređenju sa rešetkastim konstrukcijama od standardnih vruće valjanih profila otvorenog poprečnog preseka.

Međutim, oblast proračuna i konstruisanja nosećih čeličnih konstrukcija od šupljiih profila skoro da uopšte nije tretirana u domaćoj tehničkoj regulativi. Ovde se

prvenstveno misli na proračun i konstruisanje čvorova ravnih rešetkastih nosača. Iz tih razloga u svom radu "Proračun čvorova rešetkastih nosača od šupljiih profila prema Evrokodu 3", autor Jelena Dobrić daje prikaz proračuna karakterističnih čvorova (videti tabelu 1) rešetkastih nosača izrađenih od šupljiih profila kružnog i pravougaonog poprečnog preseka prema Evrokodu 3 (EN 1993-1-8). U ovom radu predstavljeni su osnovni oblici loma kao i geometrijski parametri od kojih zavisi proračun nosivosti. Takođe su prikazani postupci proračuna za dve grupe čvorova koje se najčešće primenjuju u čeličnim konstrukcijama (K i N čvorovi i T, Y i X čvorovi), i to kako za šuplje profile kružnog preseka, tako i za šuplje profile kvadratnog, odnosno pravougaonog poprečnog preseka.

Tabela 1: Karakteristični čvorovi rešetkastih nosača sa pojasevima od šupljiih profila

T - čvor	Y - čvor	X - čvor
K - čvor sa razmakom	N - čvor sa preklapom	KT - čvor sa razmakom

Ovaj rad predstavlja vredan doprinos u oblasti veza čeličnih konstrukcija, pogotovu ako se ima u vidu da ne postoji odgovarajuća domaća regulativa koja tretira ovu problematiku i da usvajanje evrokodova za konstrukcije kao nacionalnih standarda u bliskoj budućnosti nema alternativu.

U svom radu "Savremen pristup proračunu i konstruisanju spregnutih međuspratnih ploča sa profilisanim limom", autor Milan Spremić daje kratak prikaz savremenog koncepta proračuna i konstruisanja spregnutih ploča sa profilisanim limom.

Prema nekim procenama cena međuspratne konstrukcije predstavlja 50% cene konstruktivnog sistema višespratne zgrade. Učešće ploče u ceni međuspratne konstrukcije je od 50% do 100%. Stoga je razumljiv interes za izgradnjom i primenom što racionalnije i jeftinije međuspratne konstrukcije a samim time i ploče. Od 1950. godine profilisani lim počinje da se uzima u obzir pri analizi nosivosti ploče. Tip ploče kod koje se uloga armature u zategnutoj zoni poverava profilisanom limu, naziva se *spregnuta ploča*. U toku građenja profilisani lim se koristi kao oplata za svež beton, a nakon očvršćavanja betona profilisani lim ima funkciju dela ili ukupne armature u zategnutoj zoni ploče. Prednosti spregnute ploče nameću je kao veoma popularno i racionalno rešenje za međuspratnu konstrukciju. Glavne prednosti spregnute ploče u odnosu na ostala, konvencionalna rešenja ogledaju se u sledećem:

- Radna platforma koja se formira postavljanjem čeličnog profilisanog lima pre betoniranja obezbeđuje dobre uslove za brzo obavljanje radova.

- Ušteda armature; armatura u vidu profilisanog lima uglavnom zadovoljava potrebnu nosivost. Dodatna armatura je potrebna samo za jako opterećene tavanice i kao konstruktivna armatura da prihvati uticaje usled skupljanja betona.

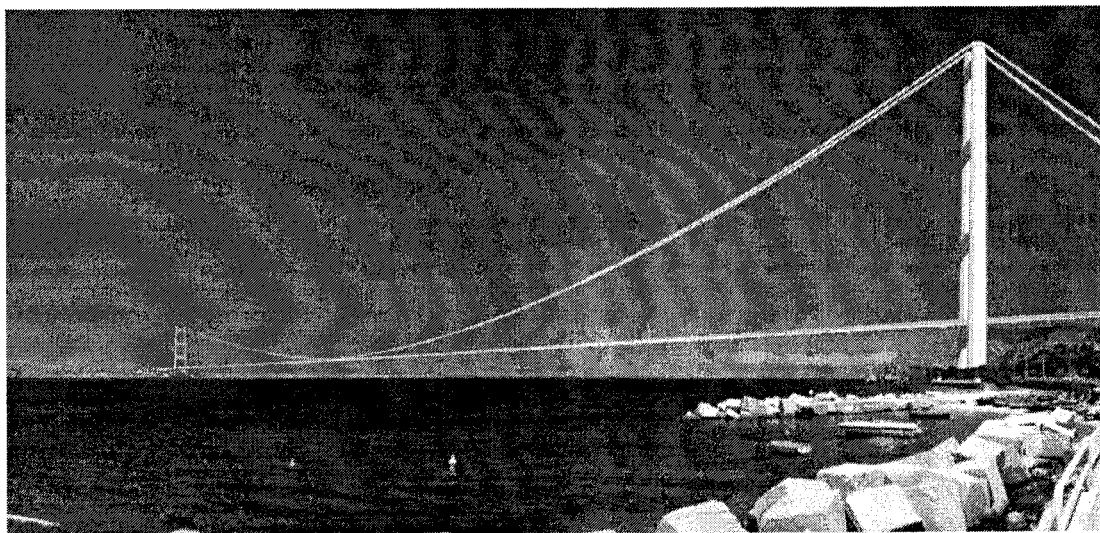
- Ušteda betona;
- Brzina izvođenja i jednostavnost konstruktivnih detalja;
- Ujednačeni kvalitet lima i antikorozione zaštite;
- Adaptibilnost spregnute ploče;
- Zbog svoje krutosti profilisani lim u fazi montaže uspeno zamenjuje i preuzima funkciju horizontalnih spregova;

- Spregnuta ploča podrazumeva primenu i spregnutih podnih nosača što smanjuje težinu podnih nosača i do 30%.

U ovom radu dat je kratak osvrt na ponašanje sprenutih ploča sa profilisanim limom, objašnjeni su karakteristični vidovi loma, kao i proračun graničnih stanja prema Evrokodu 4. Pored toga, postupak proračuna graninog stanja nosivosti na podužno smicanje sa i bez ankerovanja ploče pomoću moždaika, prema Evrokodu 4 ilustrovan je numeričkim primerima, kao i grafičkom prezentacijom dobijenih rezultata. Ovim radom domaća stručna javnost se upoznaje sa mogućnostima proračuna spregnutih ploča prema evropskim standardima koji će uskoro biti na snazi i u našoj zemlji.

### 3. ZAKLJUČAK

Na kraju treba reći da se u budućnosti očekuje dalji napredak u oblasti čeličnih i spregnutih konstrukcija i to kako na planu osvajanja novih materijala i tehnologija, tako i na usavršavanju i inoviranju odgovarajuće tehnike regulative, što svakako mora biti praćeno teorijskim i eksperimentalnim istraživanjima u ovoj oblasti. A da je to tako može potvrditi i činjenica da je ovih dana u Italiji počeo sa realizacijom projekat mosta između kopna i Sicilije preko moreuza Mesina sa srednjim rasponom od 3300 m koji će po završetku postati apsolutni rekorder u pogledu raspona.



Slika 6.- Izgled budućeg mosta preko moreuza Mesina

U našoj zemlji, bez obzira na sve veći broj objekata koji se u poslednje vreme izvode od čelika, čelične konstrukcije još uvek nemaju odgovarajući tretman, nešto zbog nedostatka domaće proizvodnje, ali još više zbog konzervativnih protivpožarnih propisa kakvi ne postoje ni u jednoj razvijenoj evropskoj zemlji. Ogra-

bruje, međutim činjenica da je počeo proces usaglašavanja domaće regulative sa evropskim normama, pa se u skorijoj budućnosti može očekivati fer tržišna utakmica u kojoj će čelične konstrukcije svakako igrati značajniju ulogu.

## **REZIME**

### **METALNE KONSTRUKCIJE**

*Zlatko MARKOVIĆ*

U ovom radu su ukratko prikazana najnovija ostvarenja u oblasti čeličnih konstrukcija. Obuhvaćeni su neki od najznačajnijih objekata, kao i savremeni propisi za proračun čeličnih konstrukcija - Evrokod 3. Pored toga, ukratko su predstavljana četiri rada iz oblasti čeličnih konstrukcija koja su prispela na XXIII Kongres i Simpozijum Jugoslovenskog društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija.

Ključne reči: čelične konstrukcije, state of art, Evrokod 3