

Davorin Kolić, Jure Radić

## **SVJETSKA ISKUSTVA U PRIMJENI ČVRSTIH MORSKIH PRIJELAZA**

### **WORLDWIDE EXPERIENCES ON STRAIT CROSSINGS**

#### **SAŽETAK**

Tokom ljudske povijesti učestalo se pojavljivala potreba za gradnjom čvrstih prijelaza preko moreuza i tjesnaca, kao spoj dvaju udaljenih obala. Tehničke mogućnosti su u povijesti bile ograničene, tako da tek s dolaskom novih materijala i tehnologija izvedbe dolazi do intenzivnog razvoja ovakvih čvrstih prijelaza. Zadnja četvrtina prošlog stoljeća ukazuje na trendove u izgradnji ovakvih objekata diljem svijeta. Čvrsti prijelazi dosežu duljine i do par desetaka kilometara i koriste tehnički i gospodarstveno prihvatljive elemente kao što su mostovi, tuneli i prirodni ili umjetni otoci. Razvojem ovakvih objekata u svijetu javlja se i već dugo nazirana potreba izvedbe čvrstih prijelaza na jadranskoj obali u svrhu povezivanja i razvitka svih krajeva Hrvatske.

#### **SUMMARY**

It has very often appeared the need to make one strait crossing across the sea or over the river during history . It was the time with limited technical availabilities and therefore only the new age was able to bring new technologies and new materials that enable serious development of fixed links. First trends in development of strait crossings came out as result of intensive construction works around the world during the last quarter of past century. Fixed crossings have reached lengths of several dozens of kilometers and are using technically and economically feasible elements as bridges, tunnels and natural or man-made islands. With the development of similar structures around the world the need for similar crossings has also appeared on the Adriatic coast as the part of development policy of Croatia.

## 1 UVOD

S pojavom prvih velikih država nastaju još i veće želje za daljnjim osvajanjima, pa tako i za dosizanjem najudaljenijih krajeva preko velikih vodenih prepreka. Tako prije više od 2000 godina prilikom vojnog pohoda Darijeva sina Xerxesa nalazimo detaljne zapise Herodota (490-425 pr.n.e.) o mostovskim građevinama kojima su prijedene velike prepreke kao i npr. Helespont. Xerxes je 480 pr.n.e. naumio prijeći Helespont (Dardaneli), i premostio udaljenost od oko 1,5 km plutajućim mostom koji je bio izgrađen preko brojnih lađa poredanih u dva paralelna reda jedna do druge, pokrivenih mosnicama, te međusobno, uzduž mosta, vezanih užetom od lana i papirusa [1, w1].

Osim vojnih potreba prijelazi su trebali osigurati i prometnu povezanost na značajnijim pravcima kretanja roba i ljudi.



Sl.1 Trajanov most preko Dunava iz 103-105 godine nase ere na reljefu na Trajanovom stupu u Rimu.

Tako su u vremenu rimskog carstva nastajali mostovi koji su ne samo po svojoj veličini bili značajne građevine, kao npr. Trajanov most preko Dunava građen između 103-105. godine naše ere u duljini od oko 1,1 km, već su svoju veličinu imali i u primjeni novih građevinskih elemenata i metoda izvedbe mijesajući npr. kamen za temelje i stupove i drvo za kolovoznu konstrukciju [2].

Isto tako potreba za svježom, pitkom vodom uzrokovala je u Rimskom carstvu gradnju akvadukata od kojih su među najpoznatijima oni u Segoviji, Španjolska i Pont du Gard koji je izgrađen za dovod vode u grad Nimes u Francuskoj [3,4].

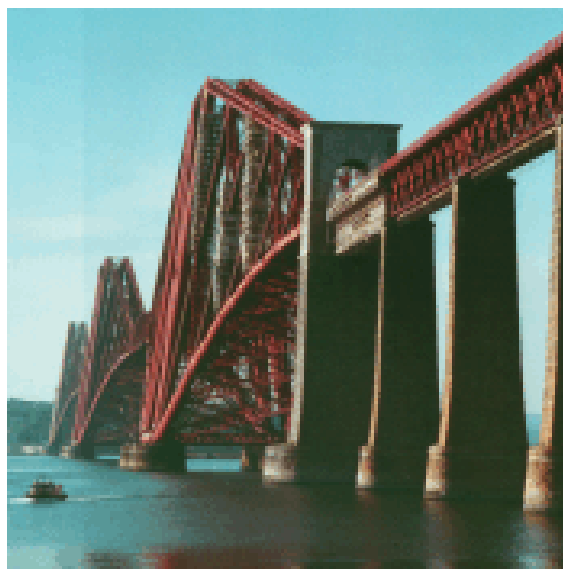
Španjolski most je građen u Trajanovo doba, u 2. st. n.e. u rekordnoj duljini takvih drevnih konstrukcija od 800 m, dok je most preko rijeke Gard građen najvjerojatnije još u 19. st.pr.n.e. pod carem Agripom

u ukupnoj duljini od 270 m i uz maksimalnu visinu od 49 m.

## 2 NOVO DOBA

Novo doba će donijeti nove impozantne građevine koje nastaju prije svog vremena, uz razvoj epoha u kojima je graditeljstvo načinilo značajnije korake. Tako se opet počinje s velebnijim mostovskim prijelazima u doba industrijske revolucije no tek tokom 19. stoljeća.

Most Firth of Forth namijenjen željezničkom prometu u duljini od 2,46 km izgrađen je u periodu 1882-89 godine kao izraziti predstavnik epohe industrijske revolucije.



Sl.2 Most Firth of Forth u Škotskoj projektirali su Sir John Fowler i Benjamin Baker.

Ovdje je primijenjen koncept mosta koji koristi konzolnu rešetkastu gradnju i čelik kao osnovni konstruktivni materijal. Po svojoj ukupnoj duljini, kao i po duljinama dvaju srednjih raspona od po 521 m, most spada u vrhunska graditeljska dostignuća s kraja 19. stoljeća [4].

Daljnje značajnije korake u gradnji velikih prijelaza nalazimo na kraju XIX i početkom XX stoljeća u SAD gdje su zahtjevi prometa preko ogromnih prostranstva zahtijevala i velike prijelaze.

U nizu ovakvih mostova, koji će dalje biti spominjani, kao prvi je Most "Sedam milja" (Seven-Mile Bridge) koji je rađen kao dio Overseas Highway (US 1) i građen preko Florida Keys zaljeva usporedno s Florida East Coast Railway, jednom od željezničkih mostova koji je građen još 1912 godine. To je samo jedan od željezničkih mostova koji su građeni po nalogu i uz financiranje naftnog magnata Henryja Flaglera početkom stoljeća. Most je kasnije bio značajnije oštećen od jednog hurikana 1935 godine. Oba mosta imaju nisko položenu niveletu, uz temeljenje u plitkom moru. [3]. Prolaz za plovila u sredini je kod oba

mosta, željezničkog i usporednog cestovnog, omogućen dizanjem nivelete na više stupove i prelaskom središnjeg raspona preko visećeg mosta.



**Sl.3** Cestovni most “Sedam milja” građen je usporedno s željezničkim preko Florida Keysa na Floridi, SAD.

### 3 VISEĆI MOSTOVI

Era visećih mostova započela je impresivnim građevinama u SAD već krajem XIX st., no XX stoljeće donosi rekordne raspone i arhitektonski zrele strukture za velika premoštenja. Oakland Bay Bridge u San Franciscu otvoren je za promet 1936 god., kao dva u nizu, dvoetažna viseća mosta. Zbog strateških razloga i dostupnosti luke došlo se u fazi projektiranja do dva viseća mosta u nizu s po 1235 m duljine i središnjim rasponima od oko 670 m. Most je u poprečnom smjeru zamišljen i izveden kao dvoetažni gdje je na gornjoj etaži bilo 6 cestovnih traka, a donja je bila predviđena za tri cestovne i dvije željezničke.



**Sl.4** Oakland Bay Bridge preko West Baya na cesti između San Francisca i Oaklanda u Kaliforniji, SAD.

Zbog izuzetnog razvitka auto industrije i potreba intenzivnog cestovnog prometa na ovom kardinalnom prometnom pravcu, most je u period 1933-36 izgrađen samo za cestovni promet u ukupnoj duljini od 2470 m [4, 5, w2].

Viseći most Golden Gate sagrađen je 1937. godine u San Franciscu i sa svojim središnjim rasponom od

1281 m, te ukupnom duljinom od 1966 m i estetskom vrijednosti predstavlja jedno od premoštenja velikog raspona koji je bio prije svoga vremena i do 1964. godine nosio svjetski rekord u duljini najvećeg raspona. Prve studije za ovaj most izrađene su još 1916. no s gradnjom se započelo tek 1933. godine. Ovakav grandiozni pothvat imao je tri osnovna tehnološka problema : temeljenje na slojevima gline u dubokom moru i potresnoj zoni, najvisi do tada piloni i najdulji srednji viseći raspon [4].



**Sl.5** Golden Gate Bridge preko zaljeva San Francisco Bay između San Francisca i Sausalita u Kaliforniji, SAD.

Chesapeake Bay Bridge je tipični primjer mostova koji su u proteklih stotinu godina nastajali na američkom kontinentu.



**Sl.6** William Preston Lane Jr. Memorial Bridge preko Chesapeake Baya veže istočnu obalu države Maryland s Baltimoreom, Annapolisom i Washingtonom D.C.

Most se sastoji od 2 objekta u duljini od 6,9 km (4,3 milje), građen je pretežito od čelika i to tako da je prvi objekat završen i predan prometu već 1952. godine kao dvotračni cestovni most uz cijenu izvođenja od 44 milijuna USD. Zbog izuzetnog značaja prometne veze i velikog obima prometa već 1973. otvoren je i drugi objekat za promet i to kao trotračni cestovni most uz cijenu izvođenja od 117 milijuna USD. Središnji rasponi su izvedeni na oba mosta kao viseći mostovi i svojim centralnim rasponom otvaraju

prostor za nesmetani promet brodova. U evropskim omjerima ne bismo stavljali ove objekte u estetski uspjeta graditeljska ostvarenja, ali ona su tipična po načinu gradnje koji se u tome vremenu u USA primjenjivao [w3].

Mackinac je otvoren za promet 1957. godine kao prvi veći most nakon katastrofe Tacoma mosta u državi Washington na Zapadnoj obali SAD.



**Sl.7** Mackinac Straits Bridge povezuje suprotne poluotoke preko jezera Michigan u Michiganu, SAD.

Poučeni iskustvom manjka stabilnosti poprečnog presjeka na djelovanje vjetra na Mackinacu su primijenjena nova istraživanja aerodinamičkih osobitosti poprečnog presjeka i to prije svega temeljena na radovima mostograditelja Davida Steinmana. Most s reškastim kolovoznim nosačm otvoren je za promet s drugim najvećim srednjim rasponom od 1158 m (nakon Golden Gatea u San Franciscu) i rekordnom ukupnom duljinom visećg dijela prijelaza od 2626 m, te ukupnom duljinom cijelog mosta od 8038 m. Po prvi puta su u projektiranju detaljno razmatrani utjecaji vjetra na konstrukciju, pritisak leda na pilone i utjecaji pokretnog opterećenja na kolovozni nosač [1, 4, 6].

Verazzano Narrows iz 1964. premošćuje ulaz u New Yorkšku luku preko tada rekordnog raspona od 1298 m i ukupnom duljinom prijelaza od 1850 m.



**Sl.8** Verazzano Narrows spaja Staten Island s Brooklynom preko ulaza u luku New Yorka, SAD.

Kolovozni nosač je bio izveden kao reškasti nosač širine 30 m, ogromne torzione krutosti noseći 12 cestovnih traka na dvije etaže. Prve ideje za ovaj

prijelaz potjecale su još iz 1888. godine i bile spriječene tadašnjim tehničkim mogućnostima, no kasnije su se pojavili i problemi financiranja. Konačno most je izveden po cijeni od 320 milijuna US\$, što je i za današnje pojmove izuzetno visoka svota od 5765 US\$ / m<sup>2</sup> [1, 4, 6].

## 4 KONTINUIRANI SANDUČASTI I OVJEŠENI MOSTOVI

Uz svu ljepotu i kapacitet prijelaza visećih mostova [8]., te istovremeno uz probleme zbog izuzetno visoke cijene ovakvih objekata i problema stabilnosti i tehničke izvodljivosti razvijali su se i oblici velikih prijelaza primjenom kontinuiranih sandučastih nosača razvojem primjene betona [9]., te kasnije razni oblici ovješениh mostova.

Most Maracaibo preko istoimenog jezera u Venezueli izveden je u periodu 1958-62 po projektu talijanskog autora Morandija. Most prelazi duljinu od 8678 m i to preko 135 otvora od kojih središnjih pet dosežu raspon od po 235 m. Širina cestovnog mosta s četiri trake je 17,40 m, a posebnost autorovog doprinosa su piloni ovješеноg mosta A-oblika, visine 92,5 m. Oni u centralnom dijelu dižu niveletu na oko 45 m visine i tako otvaraju potreban gabarit za prolaz brodova.



**Sl.9** Maracaibo Verazzano Narrows preko jezera Maracaibo u Venezueli.

Ovaj originalni oblik ovješеноg mosta i njegovih elemenata Morandi će koristiti i na dva slijedeća objekta u Italiji i Libiji (Wadi-el-Kuf) i njima odrediti svoje mjesto u povijesti mostogradnje [7].

Most Oosterschelde svojom duljinom od oko 5 km bio je dugo godina najdulji cestovni most u Europi. Otvoren za cestovni promet 1966. godine kao veza između Rotterdama i jugo-zapadne Nizozemske, vezujući kopno i otoke nizozemske Zeeland delte. Cijeli most sastoji se od 48 istih raspona duljine 95 m svaki, a cijeli je izveden od prednapetih predgotovljenih odsječaka koji su morskim putem dovoženi na mjesto ugradbe. Za ovakav tip dugih mostova u potpunosti je dosao do izražaja momenat predgotovljenja mostovnih elemenata, kao i niski troškovi održavanja betona jednom kada je most dovršen [2].



**Sl.10** Most Oosterschelde na pravcu Rotterdam – zapad Nizozemske.

Most Bubiyan koji prelazi Subiya kanal, a veže kopno s otokom Bubiyanom u Kuvajtu, građen je od 1981.-1983. godine. Ovaj most je ukupne duljine od 2380 m, koja je podijeljena na 59 raspona od kojih je svaki duljine od oko 40 m. Most je ozbiljno oštećen tokom rata za Kuvajt 1991. godine kada su mu srušena 4 otvora, ali koji su i obnovljeni već 1995. godine.



**Sl.11** Most Bubiyan preko Subiya kanala, Kuwait.

Ovaj most predstavlja smjelo ostvarenje koje je uvelo par značajnih novina u gradnju dugih prijelaza preko mora : korištenje prostorne betonske rešetke za kolovozni nosač, elementi nosača su montirani putem lansirne rešetke u cijeloj duljini raspona i potom su provučeni kablovi za prednaprezanje koji su pretvorili sustav u kontinuirani nosač, a sami kablovi vođeni su izvan presjeka nosača pa je tako prednaprezanje bilo eksterno.

S kraja stoljeća navodimo još par objekata koji svojom veličinom i oblicima provedbe određuju kojim putem ide daljnji razvoj premoštenja velikih raspona. Uz težnju prema rekordnim rasponima vidljivi su i putevi

kojima se ističe gospodarstvena prihvatljivost prijelaza, kao i novi oblici financiranja.

Most Konfederacije (također poznat pod nazivom Northumberland Crossing) u Kanadi završen je 1997. godine u duljini 12,9 km vezujući New Brunswick s Prince Edward Islandom. Konstrukcija je prednapeta sandučasta greda promjenljive visine koja je izvedena preko voda koje se zaleđuju, pa su stoga temelji i stupovi posebno oblikovani u svrhu prilagodbe fenomenu zaleđivanja. Temeljen je u moru do dubine od 35 m.



**Sl.12** Lokacija mosta Northumberland Crossing., Kanada.

Most ima 2 prilazna vijadukta manjih duljina i središnji dio glavnog mosta koji je podijeljen u 44 raspona od kojih je svaki duljine 250 m. Most je montiran uz pomoć snažne ploveće dizalice “Svanen”, kapaciteta od oko 10 000 tona, kojim su mogli biti postavljeni središnji dijelovi sanduka nad stupove u duljini od 60 m duljine. “Svanen” je zajedno s 44 osnovna dijela sanduka nad stupovima montirao ukupno 175 predgotovljenih komada. Prema duljinama glavnih raspona most spada u vrh poznate tehnologije izvedbe kontinuiranih prednapetih sanduka konzolnom gradnjom, a prema ukupnoj duljini cijelog objekta sigurno je vodeći objekat ovoga tipa [w4].



**Sl.13** Most Northumberland Crossing : jedan od 44 središnja raspona od 250 m glavnog mosta.

Ukupna cijena izvedbe mosta je bila 1 000 milijuna kanadskih dolara što uz duljinu mosta od 12,9 km i širinu od 11 m daje prosječnu cijenu od oko 7045 CN\$ / 1997 godine (oko 4227 €/m<sup>2</sup>, uz kurs 1 CN\$ = 0,59 € iz 02.2004 ).

Most Normandie završen 1994. godine predstavljao je do gradnje mosta Tataré svjetski rekord u srednjem rasponu s 856 m među ovješnim mostovima. Zajedno s bočnim poljima i pristupnim viaduktima ovaj most premoštava duljinu od 2140 m. No, mnogo značajniji je zbog skladnih odnosa koji su ovdje primijenjeni kao i optimiranog oblika i veličina svojih elemenata. Ovaj most je izuzetna skladna cjelina koja koristi najpovoljnije materijal na području gdje oni dolaze najviše do izražaja : A-pilon i pristupni rasponi su izvedeni u betonu, a veći dio središnjeg raspona kao čelični sandučasti nosač uz dvoravninski polu-lepezasti raspored zatega .[10,11].



**Sl.14** Most Normandie veze Le Havre i Honfleur u ukupnoj duljini od 2141 m, Francuska.

Cijena izvedbe bila je 465 milijuna US\$ što uz duljinu od 2141 m i širinu kolovoznog nosača između ograda od 19.50 m daje cijenu od 11.137 US\$/m<sup>2</sup> (oko 8910 €/m<sup>2</sup>, 02.2004).

## 5 DOBA VELIKIH PRIJELAZA

Kraj XX stoljeća možemo s pravom nazvati dobom velikih prijelaza jer su u isto vrijeme na više mjesta na svijetu izvedeni veliki čvrsti kombinirani objekti kao rezultat prije svega ozbiljnih prometnih potreba. Istovremeno ovi objekti iskazali su i trendove kako će se nadalje takvi prijelazi ostvarivati u budućnosti.

Mostovi na sjeveru Europe kao što su Veliki Belt (Great Belt ili Storaebelt) u Danskoj i Öresund između Danske i Švedske ostvarili su vezu za željeznički i cestovni promet preko morskih kanala i pušteni su u promet 2000. godine [2].



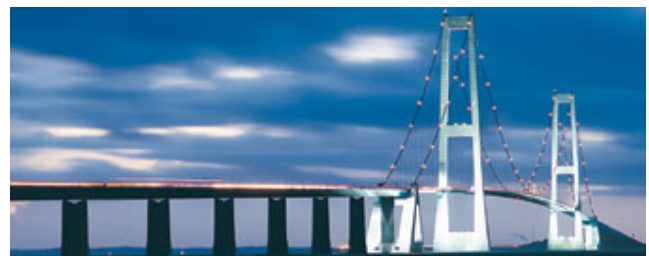
**Sl.15** Lokacija prijelaza Great Belt u Danskoj, Öresund između Danske i Švedske kao i budućeg spoja Danske i Njemačke : Fehmarn Belta.

Veliki Belt je spoj ukupne duljine 18 km i sastoji se od dijelova istočno i zapadno od otočića Sprogø koji je negdje u sredini između danskih otoka Sjælland i Funen.



**Sl.16** Lokacija prijelaza Veliki Belt u Danskoj.

Prijelaz je izveden za četiri cestovne trake i dvotračnu željezničku prugu. Zapadno od Sprogøa položen je 6,6 km dugački most izveden od predgotovljenih betonskih elemenata, dok istočni most dužine 6,8 km uključuje i viseći most središnjeg raspona od 1624 m. Most istočno od otoka Sprogø služi cestovnom prometu, a dvotračna željeznica koristi susjedni 8 km dugi podmorski bušeni tunel.[w5].



**Sl.17** Istočni most Veliki Belt s visećom konstrukcijom raspona 1624 m, Danska.

Öresund je morski kanal duljine 16 km koji se prelazi na švedskoj strani mostom u duljini od 7.5 km, koji ima najveći otvor u obliku ovjeshene strukture mosta s rasponom 490 m, dok se u blizini danske strane prelazi podmorskim bušenim tunelom duljine 3.75 km [w6].



Sl.18 Čvrsti prijelaz Öresund između Danske i Švedske.

U svrhu intenzivnijeg razvoja južnog dijela zemlje Japan je ulazio ogromna sredstva u posljednjih dvadesetak godina na čvrsto povezivanje otoka Honshu i Shikoku što je uslijedilo izgradnjom triju prometnih pravaca, zapadnog, središnjeg i istočnog, s nizom mostova [w7].

Ove prometne linije uključuju svjetske rekordne raspane u području visećih (Akashi Kaikyo sa središnjim rasponom od 1990 m i ukupnom duljinom od 3910 m) i ovješanih mostova (most Tataru sa središnjim rasponom od 890 m i ukupnom duljinom prijelaza od 1480 m).



Sl.19 Lokacija istočnog spoja otoka Honshu i Shikoku, prometnog pravca Kobe – Naruto, Japan.

Prometna linija Kobe-Naruto s visećim mostom Akashi Kaikyo je u prometu od 1998. godine. Most je građen s konzervativnim prostornim rešetkastim kolovoznim nosačem visine 14 m i nosi 6 cestovnih traka i okvirnim pylonima visine od 333 m.

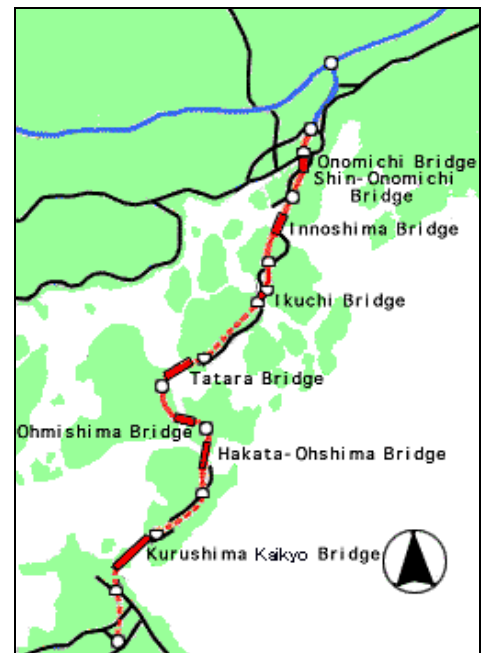
Radjen je u periodu od 7 godina, a cijena izvedbe dosegla je 3.1 milijardu US\$ što uz širinu kolovoznog nosača od 35.5 m daje izuzetno visoku cijenu primjerenu samo japanskom građevinskom tržištu od oko 22,330 US\$/m<sup>2</sup> ( oko 17,865 €/m<sup>2</sup>).

Most je projektiran za tajfunske vjetrove brzina do 263 km/h i potres od 8.stupnjeva Richtera.



Sl.20 Most Akashi Kaikyo otvoren za promet 1998. godine., Japan.

Najmlađa završena prometna linija između Honshua i Shikokua je zapadna linija Nishiseto.



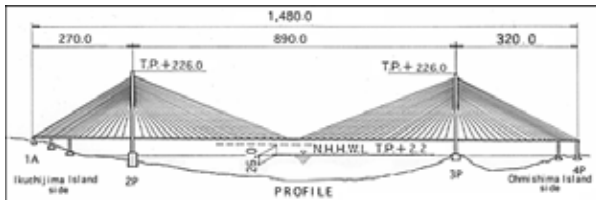
Sl.21 Lokacija zapadne linije Nishiseto, Japan.

Ova linija uz most Tataru uključuje i niz drugih mostova. od kojih vrijedi spomenuti niz od tri uzastopna viseća mosta Kurushima Kaikyo središnjih raspona od 600, 1020 i 1030 m koji uz pomoć dva otočića premoštavaju ukupnu duljinu od 4105 m [w7].



SI.26 Niz od tri viseca mosta Kurushima Kaikyo ostvaruju prijelaz od 4105 m.

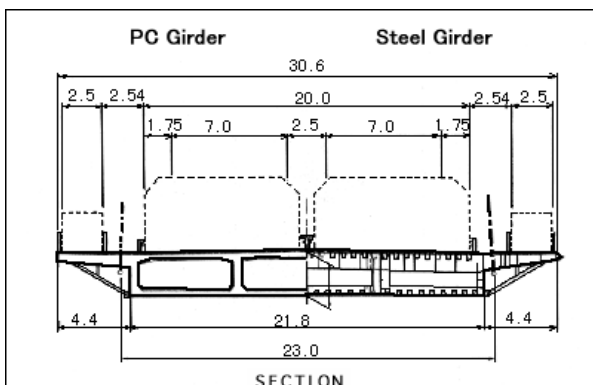
Most Tatara koji trenutno drži svjetski rekord među ovješnim mostovima bio je na početku, 1973 godine zamišljen i projektiran kao viseći most.



SI.22 Most Tatara: uzdužna dispozicija duljine 1480 m.

Od tog koncepta se odustalo i prešlo u projektu 1989. godine na ovješenu varijantu istog središnjeg raspona zbog napretka u projektiranju i analizi ovješnih mostova koje su doprinijele značajnijim uštedama u gospodarstvenom smislu.

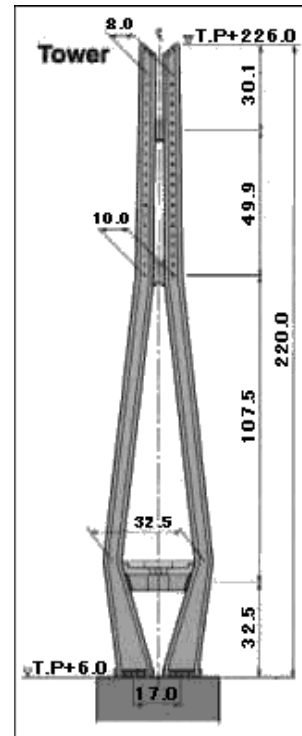
Stoga je on nadalje projektiran kao ovješni most sa sandučastim kolovoznim nosačem i to betonskog presjeka u pristupnim i čeličnog presjeka u glavnom rasponu.



SI.23 Most Tatara : poprečni presjek kolničkog nosača.

Kako su pristupna polja relativno kratka prema srednjem, tako betonski nosač u pristupnom polju djeluje kao protuuteg glavnom rasponu.

Pilon je izveden u čeliku u obliku obrnutog slova Y kao rezultat analiza pod opterećenjem vjetrom.



SI.24 Most Tatara : pogled na čelični pilon.

Most je nakon 7 godina rada završen s nizom inovacija u području analiza utjecaj vjetra, aerodinamičke stabilnosti zatega, konzolnom gradnjom izloženom tajfunima, problematike izvijanja priritisnutih čeličnih elemenata i prigušenja titranja od utjecaja potresa, te mjerenja vibracija konstrukcije tokom gradnje i u uporabi.



SI.25 Most Tatara : pogled na most u uporabi

Kao dio projekta izgradnje novog aerodroma u Hong Kongu pod imenom Landau Link područje New Territories vezano je s otokom Chep Lap Kok.





**Sl.27** Most Kap Shui Mun na prilazu Hong Kongu sa strane otoka Landau, NR Kina.

Kao dio grandiozne prometne sheme izvedeni su i mostovi Kap Shui Mun [w8] i Tsing Ma [w9].

Kap Shui Mun je ovješeni most sa središnjim rasponom od 430 m i ukupnom duljinom od 820 m, završen 1997. godine, a u poprečnom presjeku na donjoj etaži nalazi se željeznica, a na gornjem cestovne trake. U produžetku ovog mosta pruža se viseći most Tsing Ma, izvođen od 1992-97, sa središnjim rasponom od 1377 m i ukupnom duljinom od 2,2 km.



**Sl.28** Most Tsing Ma na prometnom pravcu u nastavku mosta Kap Shui Mun u Hong Kongu, NR Kina.

Stoga oba mosta možemo shvatiti kao cjelinu koja premoštava raspon od preko 3 km, koji su pušteni u promet 1997 godine.

Na istoj lokaciji, iako ne na istom prometnom pravcu, izveden je i ovješeni most Ting Kau [w10], s tri pilona i rasponima 127, 448, 475 i 127 m, koji čine ukupnu duljinu prijelaza od 1177 m.



**Sl.29** Most Ting Kau na prometnom pravcu sjeverno od Kap Shui Muna i Tsing Ma, Hong Kong, NR Kina.

Ovakva uzdužna dispozicija mosta počinje se sve češće primjenjivati za premoštavanje sličnih, a i većih raspona zbog lakoće izvedbe i gospodarstvenih prednosti. Vrijedno je još spomenuti da će se u neposrednoj blizini naredne 2004 godine početi graditi novi most koji će preuzeti svjetski rekord u duljini središnjeg raspona ovješnih mostova. Most pod

nazivom Stonecutters Bridge (ili na kineskom most Angchuanzhou) imati će središnji raspon od 1018 m, bočne raspone od po 289 m i time ukupnu duljinu od 1596 m, a uz visinu dva pilona od po 293 m i širinu kolničkog nosača od 51 m [w11].



**Sl.30** Most Stonecutters na ulazu u luku Hong Konga. NR Kina.

Ovakve dimenzije ovješnog mosta u potpunosti su u konstruktivnom području visećih mostova, ali je s vremenom značajno uznapredovala gospodarstvena prihvatljivost ovješnih mostova, te su oni kako u estetskom tako i u konstruktivnom smislu postali u području srednjih raspona i preko 1000 m konkurentni visećim mostovima. Most se treba početi graditi u siječnju 2004. i biti završen nakon 4 godine, početkom 2008.

## 6 MEGA PROJEKTI

Uz sve prijelaze koji za kojima potreba proizlazi iz učestalosti prometa na određenim pravcima ili postoje vrlo često i projekti čija izvedba možda i nema odgovarajuće gospodarstveno zaleđe, ali njihova nužnost proizlazi iz strateške ili neke druge važnosti za vezivanje dviju udaljenih obala, kao što danas pokazuje primjer tunela ispod kanala La Manche.

To su vrlo često mega projekti koji teže spajanju kontinenta ili tisućljećima udaljenih kopnenih sredina koje su gravitirale jedna drugoj.



**Sl.33** Most Messina : uzdužna dispozicija mosta s osnovnim geometrijskim podacima, Italija.

Most kod Messine je već godinama u razmatranju no zbog razmjera projekta i potrebnih sredstava za njegovo ostvarenje tek sada se može govoriti o mogućnosti njegovog ostvarenja [12,13].

Koncesijska grupa je predstavila idejni projekat i financijski kostur projekta koji bi trebao započeti s izvođenjem mosta početkom 2005. godine. Viseći most bi imao središnji raspon od 3300 m, ukupnu duljinu od 3666 m, visinu pilona od preko 382 m i širinu kolničkog nosača od 60 m koji je predviđen nositi dvostruku željeznicu i 6 cestovnih traka [w12]. Troškovi projekta procjenjuju se na oko 21.000 €m<sup>2</sup>, izvođenje bi trebalo trajati oko 7 godina, a most bi trebao biti otvoren za promet 2012. godine.



SI.34 Most Messina : pogled na poprečni presjek visećeg mosta. Italija.

Prijelazi mostom preko Gibraltara [w13] ili preko Beringovog moreuza između Alaske i Rusije [1] još su uvijek na razini planova, ali prema danskom iskustvu ne izgledaju više stranim, pogotovo spoj Španjolske i Maroka.

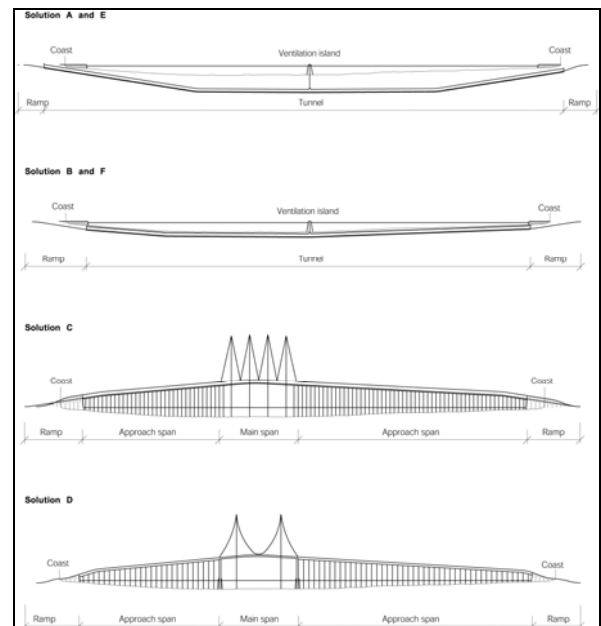


SI.35 Most preko Gibraltarskog tjesnaca kao niz visećih mostovnih konstrukcija u nizu, s po 2 pilona.

Ovdje se radi o udaljenosti oko 14,5 km i prema projektima ureda T.Y.Lina, prema geologiji i topografiji morskog dna, bilo bi ostvarivo ovaj raspon premostiti s dva viseća mosta duljine 4,8 km i jednim

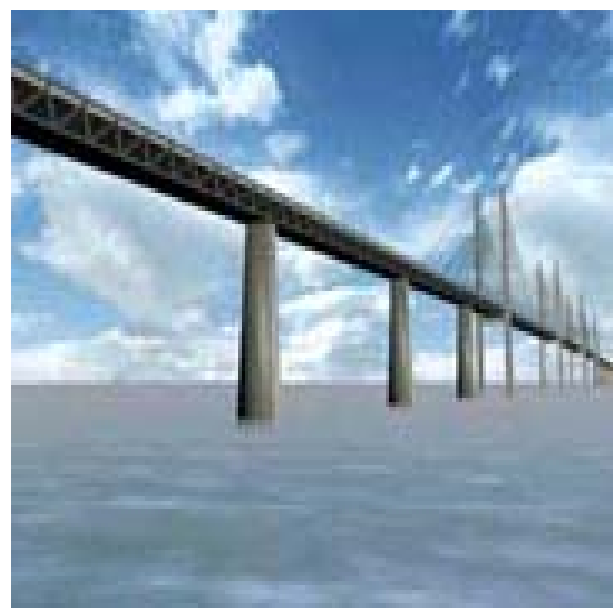
ovješnim mostom ukupne duljine 2,4 km uz korištenje par umjetnih otoka na spojevima pojedinih objekata. Upravo zadnje vijesti o ovom prijelazu govore da je konačno rješenje za ovaj tip čvrstog prijelaza palo na varijantu s bušenim tunelom koji bi bio izveden na duljini od oko 16 km (11.2003).

U sklopu lokacije na kojoj se nalaze Great Belt i Öresund predviđa se i treći spoj : Fehmarn Belt između Danske i Njemačke ukupne duljine prijelaza od 19 km [w14].



SI.31 Čvrsti prijelaz Fehmarn Belt prikazan u 4 varijante izvedbe : 2 tunela i 2 mosta.

Za ovaj prijelaz postoji par rješenja koja predviđaju 2 tipa tunelskih prijelaza i 2 tipa mostovskih prijelaza.



SI.32 Most Fehmarn Belt : kao varijanta ovješnog mostovskog prijelaza s 4 para pilona.

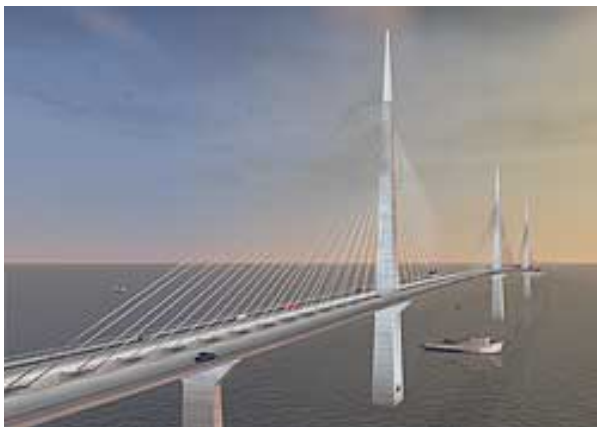
Jedan prijelaz mostom predviđa viseći most središnjeg raspona od 1752 m, dok se drugi prijelaz sastoji od tri uzastopna ovješana mosta s ukupno 4 pilona i sa po 720 m raspona, a radi zadovoljavanja odvojenih plovidbenih putova.

Most u Kuvajtu u duljini od oko 22 km je još uvijek u fazi razmatranja njegove prihvatljivosti, ali se može uzeti vrlo vjerojatnim zbog osiguranih sredstava za njegovo financiranje. Most bi trebao prelaziti preko morskog zaljeva i ostvariti direktnu vezu sa sjevernom provincijom Subiyah koja je još dio pustinje [w15]. Most će biti izveden s nisko položenom niveletom i na nizu nasipa u blizini obale uz ovješeni središnji dio radi prolaza brodova. Predviđeno vrijeme gradnje je 6 godina.



**Sl.36** Koncept mosta između Kuwait Cityja i provincije Subiyah, Kuwait.

Most koji veže Qatar i Bahrein u duljini od 45 km bio bi najduži cestovni čvrsti morski prijelaz. Vrijeme gradnje procijenjeno je na 5 godina, a prijelaz će vezati zapadnu obalu Qatara u blizini tvrđave Zubarah s istočnom obalom Bahreina južno od njegovog glavnog grada Manamaha.



**Sl.37** Most između Qatara i Bahreina duljine 45 km s ovješnim mostom s tri pilona u središnjem dijelu.

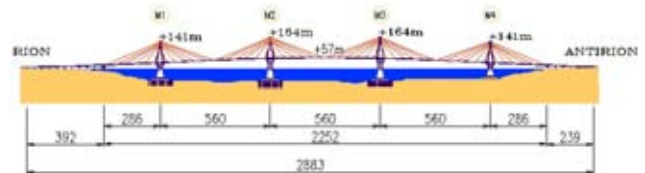
Ovaj čvrsti prijelaz će imati nizove mostova koji će biti kombinirani s cestom na nasipima i biti će prirodan produžetak prometnice King Fahd Causeway koja povezuje Bahrein i Saudijsku Arabiju, povezujući istovremeno cijelu regiju [w16].

Ovaj pregled velikih projekata ukazuje ujedno na prijašnje i današnje potrebe za ovakvim premoštenjima, ali isto tako i uznapređevalost mogućnosti njihova ostvarenja u konstruktivnom i financijskom smislu.

## 7 ODABIR OBLIKA CVRSTE VEZE

Slijedeći primjeri prikazuju par internacionalnih suvremenih projekata koji su upravo u fazi izvedbe ili neposredno pred izvedbom. Oni pokazuju koji su trenutni trendovi u ostvarenju čvrstih pretežito prekomorskih veza preko zapreka od barem 2 km duljine. U odlučivanju koji oblik veze će biti primijenjen sudjeluju prije svega prometni, strateški, konstruktorski i ponajviše gospodarstveni čimbenici.

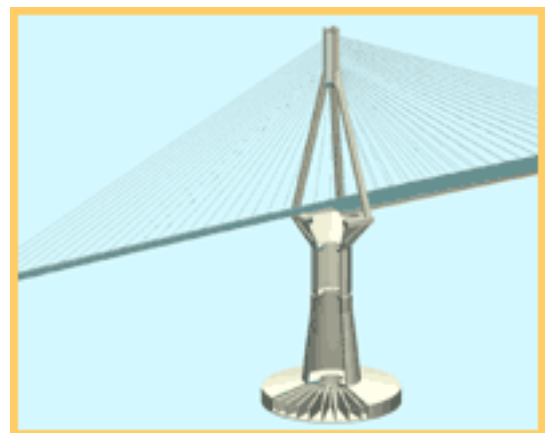
Most Rion Antirion je upravo u gradnji u Grčkoj i biti će nakon dovršenja, koje je planirano za kraj 2004. godine, najdulji ovješeni most na svijetu [w17].



**Sl.38** Most Rion Antirion: uzdužna dispozicija, Grčka.

Most povezuje Peloponez sa zapadnim dijelom Grčke i nalazi se na sjecištu dvaju značajnih prometnih pravaca, a dio je i internacionalne TEN mreže.

Dispozicija mosta sadrži 5 raspona ovješnog mosta između pilona na razmacima 286, 3x560 i 286 m što čini ukupnu duljinu od 2252 m. Piloni mosta temeljeni su na 4 masivna temelja u dubinama mora od 50-65 m. Masivnost temelja uzrokovana je izloženosti na potres kao i aluvijalnim slojevima na morskome dnu.



**Sl.39** Most Rion Antirion : pogled na pilon s ovjesom u dvije ravnine i masivne temelje na duktilnim pilotima.

Kolovozni nosač projektiran je i izvodi se kao spregnuti nosač širine 27.2 m koji nosi 2 cestovne trake, sigurnosnu traku i pješačku stazu u svakom smjeru. Spregnuti nosač se

sastoji od čeličnog roštilja od 2.2 m visokih uzdužnih nosača s poprečnim nosačima na razmaku od 4.0 m. Betonska kolovozna ploča sastoji se od predgotovljenih betonskih ploča.

Zbog visokih troškova temeljenja i složenosti pilona kao i zbog veličine projekta i oblika financiranja, cijena mosta je dosegla 13.000 €/m<sup>2</sup> prometne površine.



**SI.40** Most Rion Antirion : pogled na konstrukciju spregnutog kolovoznog nosača s sirinom od 27.2 m.

Most između Pusana i otoka Geoje u Južnoj Koreji ukupne je duljine oko 8.2 km i sastoji se od 3 dijela uz cijenu izvedbe od oko 810 milijuna €i vrijeme gradnje od 5 godina.



**SI.41** Most Pusan-otok Geoje : pogled na ovještene mostove s 3 i 2 pilona u nizu , Južna Koreja.

Prvi most je duljine od oko 2 km sa središnjim ovješnim mostom na 3 pilona i rasponima 106 – 230 – 230- 106 m uz pristupne kontinuirane dijelove.

Drugi most je također dug oko 2 km sa središnjim ovješnim mostom na 2 pilona i rasponima 230 – 475 – 230 m i kontinuiranim pristupnim vijaduktima, te trećeg dijela u duljini od oko 4 km koji je projektiran kao potopljeni tunel na dubinama morskog dna od 50

m što je do sada najveća dubina za ovakav tip konstrukcije.



**SI.42** Prijelaz Pusan –otok Geoje : pogled na poprečni presjek potopljenog tunela, Južna Koreja.

Izrada projekta predviđena je za period 2003-06 dok bi zvedba trebala biti provedena u periodu 2004-09 [w18].

Most u Kini Su Tong u blizini Nantonga na rijeci Yangtze projektiran je kao prijelaz u duljini od 7600 m i s glavnim rasponom od 1088 m kao ovješeni most na 2 pilona i visinom u sredini od 62 metra zbog omogućavanja plovidbe visokih brodova s kontejnerima.



**SI.43** Most Su Tong preko rijeke Yangtze na jugoistoku Kine u blizini Nantonga, NR Kina.

Poprečni presjek će nositi 6 cestovnih traka i po završetku će biti most rekordnog ovješnog raspona oko 70 m dulji od Stonecutters Bridge u Hong Kongu, s pilonima visine oko 300 m, a temeljenje će biti izvedeno na pilotima dubine 110 m koji će trebati biti položeni u rijeci s jakim strujanjima i intenzivnim prometom. [w19].

Trenutna potreba za ovim mostom iskazana je preko zakrčenosti trajektnih linija koje bilježe prosječan dnevni promet preko rijeke u oba pravca od oko 13 000 vozila.

Projekat mosta Geo Geum tvrtke LAP iz Stuttgarta ponio je prvu nagradu na internacionalnom natječaju za čvrsti prijelaz na otok Geo na jugu Južne Koreje.

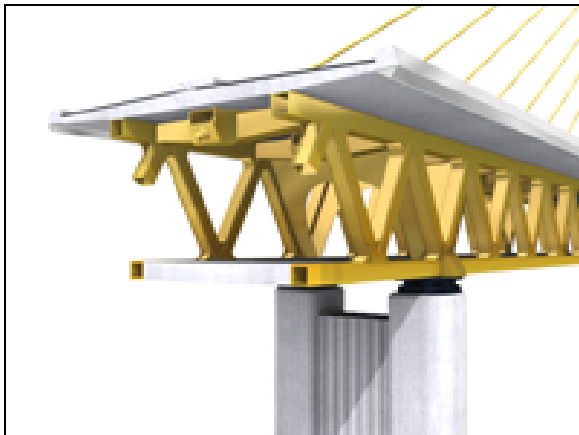
Središnji most je ukupne duljine 1116 m i sastoji se od glavnog ovješnog mosta s 2 pilona i rasponima 120 – 198 – 480 – 198 – 120 m.



**Sl.44** Most Geo Geum : čvrsti prijelaz na otok Geo, u pogledu, J.Koreja.

Zatege su iz estetskih razloga grupirane u snopove jer je to prijelaz na “Sunčani otok”. Pristupni most je 912 m dugačak i koncipiran kao kontinuirani nosač s rasponima 72 + 7\*120 m.

Za poprečni presjek kolovoznog nosača biran je 6 m visoki spregnuti rešetkasti nosač, s 4 cestovne trake na gornjoj etaži i pješćakom stazom na donjoj etaži presjeka.



**Sl.45** Most Geo Geum : poprečni presjek kolovoznog nosača., J.Koreja.

Most prelazi glavnim rasponom preko jednog puta za prolaz brodova širine 170 m pod kutem od 35 stupnjeva pa su piloni dimenzionirani na udarac broda od 5000 tona i brzinu udara od 3,2 m/sec, velike brzine vjetrove zbog položaja u zoni tajfuna i temeljenje na kesonima u 35 m dubine.

Cijena izvedbe je procijenjena na oko 250 milijuna US\$ što vodi prema prosječnoj cijeni od oko 6700 US\$/m<sup>2</sup> kolovozne površine [w20].

## 8 PRIMJENA NA JADRANSKOJ OBALI

Na jadranskoj obali imamo niz odličnih lokacija za primjenu ovakvih čvrstih prijelaza kao što je već pokazano u nizu radova i planova razvitka Republike Hrvatske [14]. Usporedbe raznih tipova čvrstih prijelaza pokazuju u svakom slučaju da je gospodarstvene prihvatljivosti na strani mostova pri duljinama od oko 2-2,5 km pri prijelazima u uvjetima koji su na jadranskoj obali [15, 16]. Te uvjete možemo ukratko predočiti preko osobitosti vrlo sličnih projekata opisanih u poglavlju 7 koji su istovjetni u sljedećem :

- svi mostovi su s osnovnim gabaritom prolaza za plovila u središnjem rasponu
- svi se nalaze u seizmički aktivnim zonama
- skoro svi mostovi su sa spregnutom konstrukcijom kolovoznog nosača
- svi su s glavnim rasponima kao ovješeni most i pristupnim vijaduktima kao kontinuirani sustav preko više raspona
- duljine prijelaza su različite 2252, 2\*2000m, 7600,2028 ali uz isti osnovni koncept prijelaza
- temeljenje u moru do oko 50 m dubine (lokalni max 65 m u Grčkoj)

Prvi radovi o gradnji takvih objekata na našoj obali [17,18,19] govore također u prilog prihvatljivosti navođenih dispozicija mosta i u našim uvjetima na jadranskoj obali. No do odabira najprihvatljivijeg rješenja biti će potrebno provesti optimizaciju rješenja u tehničko i gospodarstvenom smislu.

## 9 IZVORI

1. **Brown D.** : “Brücken – Kühne Konstruktionen über Flüsse, Täler, Meere”, Callwey Publishers, München 1994
2. **Radić J.** : “Mostovi”, Dom i svijet, Zagreb 2002
3. **Browne L.** : “Brücken – Meisterwerke der Architektur“, Parkland Verlag, Köln 1996
4. **Hayden M.** : “The Book of Bridges“, Marshall Cavendish Ltd., London 1976
5. **Gimsing N.J.** : “Cable Supported Bridges”, John Wiley & Sons, Chichester 1983.
6. **Herzog M.** : „Elementare Berechnung von Seilbrücken : Geschichte, Statik, Schwingungen“, Werner Verlag, Düsseldorf 1999
7. **Morandi R.** : „Die Brücke über den Maracaibo-See in Venezuela“, Berlin 1963, Bauverlag
8. **Leonhardt L., Zellner W.** : „Vergleiche zwischen Hängebrücken und Schrägkabelbrücken für Spannweiten über 600 m“, IVBH Abhandlungen 32-I, 1972, S.127-165
9. **Schlaich J., Scheef H.** : „Concrete Box Girder Bridges“, Structural Engineering Documents 1e, Zürich 1982

10. **Wenzel H.** : "Cable Stayed Bridges : History, Design, Application", North Gate Book, Taipei 1998.
11. **Kolić D.** : "Konstruktorsko - gospodarstveni čimbenici prihvatljivosti mostova s kosim zategama", Magistarski rad, Sveučiliste u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb 1998, str.149.
12. **Herzog M.** : „Das Projekt einer Hängebrücke über die Meerenge von Messina mit 3500 m Spannweite“, Stahlbau 51, (1982), H.2, S.33-36
13. **Herzog M.** : „Die 400 m hohen Betonpylone der projektierten Hängebrücke über die Meerenge von Messina“, Bautechnik (1982), H.11, S.380-382
14. **Radnić J.** : „Čvrsto povezivanje hrvatskih otoka s kopnom – garant njihovog razvitka“, IV Kongres DHGK, Cavtat , 23-25.05.1996, str. 421-427
15. **Kolić D.**: "Competitiveness of New Bridges and Tunnels", Symposium FIP'97, Johannesburg, March 9-12, 1997, pp.897-906
16. **Kolić D.**: "Gospodarska usporedba mostovnih i tunelskih prijelaza“, Građevinar (1997), Vol.49, br.7, str.367-372
17. **Radić J., Šavor Z., Puž G.** : "Optimalizacija prijelaza na otok Pašman", Građevinar 54 (2002), br. 2, str.65-86
18. **Radić J., Kolic D.** : „Most Klek - Pelješac“, Simpozij HDGK „Nove tehnologije u hrvatskom graditeljstvu“, Brijuni 26.-28.06.2003, str. 27-49
19. **Kolić D., Radić J.** : „Wirtschaftliche Verwendung der Schrägseilbrücken mit dem Versteifungsträger aus Beton“, *ÖIAV Zeitschrift*, ( predano za objavljivanje)
- w10. [www.structurae.de/en/structures/data/str00\\_078.php](http://www.structurae.de/en/structures/data/str00_078.php) : **Bridges in Hong Kong : Ting Kau, Hong Kong, PR China** (15.05.2003)
- w11. [www.structurae.de/en/structures/data/str00\\_930.php](http://www.structurae.de/en/structures/data/str00_930.php) : **Bridges in Hong Kong : Stone-cutters Bridge, Hong Kong, PR China** (15.05.2003)
- w12. [www.strettodimessina.it](http://www.strettodimessina.it) : **Messina Bridge, Italy** (15.05.2003)
- w13. <http://idol.union.edu/~ferrerf/> : **Gibraltar Bridge, Spain/Morocco** (15.05.2003)
- w14. [www.fdvj.com](http://www.fdvj.com) : **Fehmarnbelt Bridge, Denmark** (15.05.2003)
- w15. <http://bridgepros.com/projects/kuwaitbridge/> : **Kuwait Bridge, Kuwait** (15.05.2003)
- w16. <http://www.cowi.dk/> : **Danes behind the world's longest fixed link : Qatar-Bahrain** (06.06.2003)
- w17. [www.gefyra.gr](http://www.gefyra.gr) : **Bridge Rion-Antirion, Greece** (15.05.2003)
- w18. <http://www.cowi.dk/> : **COWI links Korea : Busan to Geoje fixed link, S.Korea**, (06.06.2003)
- w19. <http://www.cowi.dk/> : **Su Tong Bridge, PR China**, (25.01.2004)
- w20. <http://www.lap-consult.com/> : **Geo Geum Bridge , S.Korea**, (25.01.2004)

## WEB LINKOVI:

- w1. [www.wsu.edu:8080/~wldciv/herodotus.html](http://www.wsu.edu:8080/~wldciv/herodotus.html): **Herodotus : The Histories : Xerxes at the Hellespont (mid 5<sup>th</sup> Century BCE)** (06.06.2003)
- w2. [www.mtc.ca.gov/projects/bay\\_bridge/bb\\_main.htm](http://www.mtc.ca.gov/projects/bay_bridge/bb_main.htm): **San Francisco-Oakland Bay Bridge, CA, USA** (06.06.2003)
- w3. [www.roadstothefuture.com](http://www.roadstothefuture.com) : **Chesapeake Bay Bridge, MA, USA** (15.05.2003)
- w4. [www.confederationbridge.com](http://www.confederationbridge.com) : **Bridge Northumberland, Canada** (15.05.2003)
- w5. [www.storebaelt.dk](http://www.storebaelt.dk) : **Great Belt Bridge, Denmark** (15.05.2003)
- w6. [www.oresundkonsortiet.com](http://www.oresundkonsortiet.com) : **Öresund Bridge, Denmark** (15.05.2003)
- w7. [www.hsba.go.jp](http://www.hsba.go.jp) : **Honshu-Shikoku Bridges, Japan** (15.05.2003)
- w8. [www.structurae.de/en/structures/data/str00\\_039.php](http://www.structurae.de/en/structures/data/str00_039.php): **Bridges in Hong Kong : Kap Shui Mun, Hong Kong, PR China** (15.05.2003)
- w9. [www.structurae.de/en/structures/data/str00\\_082.php](http://www.structurae.de/en/structures/data/str00_082.php) : **Bridges in Hong Kong : Tsing Ma, Hong Kong, PR China** (15.05.2003)