

CESTE I MOSTOVI

Vol. 29

Zagreb, 1983.

Broj 2



1. UVOD

Namjera ovog članka jest da se svrsta, po redoslijedu, desetak najvećih mostova prema veličini raspona, a za pojedine tipove mostovnih konstrukcija. Na ovo nas je potaklo nepostojanje, u našoj literaturi, ovako srednjih podataka na jednom mjestu, pojava velikog broja novih rekordnih ostvarenja u posljednjih nekoliko godina, te postojanje projekata i studija za još veće raspona, kao i članak [1] koji na vrlo sličan način obraduje ovu tematiku, ali s nekim greškama, pogotovu vezanim za mostove u Jugoslaviji.

U popisu literature prikazano je samo osnovno, što može biti osnova za daljnje proučavanje, jer je materija vrlo opsežna. Zbog toga smo se ograničili samo na veličinu raspona, sadašnje rekorde, kao i eventualne buduće, uz skicu aproksimativnih proračuna mogućih dometa na osnovi sadašnjeg stanja razvoja materijala, tehnologije, montaže i proračunskih sistema.

2. OPĆENITO

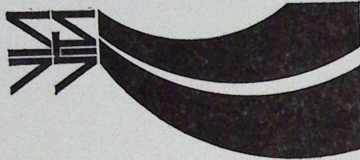
Promatrajući razvoj građenja mostova u posljednjih pola stoljeća (kada je primat u veličini raspona, prema šivši prethodni za skoro dvostruko, preuzeo most George Washington 1931. godine s rasponom od 1.067 m) prisutan je stalni napredak u oblikovanju i izvedbi mostova velikih raspona. Za glavne činitele tog napretka mogu se uzeti: (1) novi koncepti, kao što su zauzdani sklopovi, ortotropne ploče, kompozitne metalno-betonske strukture, rešetkaste strukture; (2) točnije metode proračuna; (3) nova sredstva za analizu, kao što je upotreba električnih računala; (4) upotreba novih materijala, kao što su visokovrijedni čelici i betoni; (5) novi i ekonomičniji načini prefabriciranja, posebno vezani uz nove metode izvedbe, segmentno građenje; (6) bolja provjera kvalitete materijala i djelovanja cjelokupne konstrukcije, razvoj eksperimentalnih analiza, modelska ispitivanja; (7) bolje razumijevanje djelovanja vjetrova i potresa; [1], [2], [4], [5] i [6]. Uz to treba naglasiti i brzi cjelokupni razvoj tehničkih saznanja i dostignuća i njihovu odgovarajuću primjenu.

Nosive konstrukcije mostova velikih raspona izvide se od čelika, betona ili njihovom kombinacijom. Ovdje ćemo se ponekad zadržati na takvoj podjeli, iako se ta granica sve više briše pošto se pojedini dijelovi nosivih konstrukcija izgrađuju od materijala koji je na određenom mjestu najbolje iskorišten. Najefikasnija upotreba čelika i betona je u stanju aksijalnog naprezanja, zbog jednolike razdiobe naprezanja i jednakog ponašanja cijelog presjeka. Upotreba ovih materijala kod savijanja je manje efikasna. Stanje naprezanja i stupanj efikasnosti u odnosu na tip mostovnih konstrukcija i maksimalnu moguću veličinu raspona prikazani su prema [1] u tabeli 1.

Tipovi mostovnih konstrukcija o kojima će ovdje biti riječi jesu: viseći mostovi, zauzdani sklopovi, lučni mostovi, rešetkasti sklopovi i gredni mostovi.

Prema tabeli 1 vidljivo je da sa svim tipovima mostovnih konstrukcija nije moguće postići neki zajednički maksimalni raspon, nego da svaki tip ima svoje područje upotrebljivosti i svoj maksimum. Kada ćemo primijeniti koji tip, ovisi o mogućem, što prelazi okvire ovog članka, a zainteresirane upućujemo na knjigu [2].

CESEIMOSIOM
GLASILO SAVEZA DRUŠTAVA
ZA CESTE HRVATSKE I
SAVEZA DRUŠTAVA ZA
PUTOVE JUGOSLAVIJE



ČASOPIS ZA PROJEKTIRANJE,
GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I
TEHNIČKO-EKONOMSKA
PITANJA CESTA, MOSTOVA
I AERODROMA

SADRŽAJ

Pavao Marović
Vladica Herak-Marović, Split
Sadašnji i mogući domeći mostova
velikih raspona 37
pregledni rad

Dubravka Biegović
Dunja Mikulić
Velimir Ukrainčik, Zagreb
Poboljšanje otpornosti betona na
mraz i soli 47
pregledni rad

Mr Dušan Marušić, Split
Prilog vrednovanju
investicijskih alternativa
prethodno prikopativna 51

Marijan Trubeljak, Osijek
Prva cemetnom, stabilizirana kol-
nička konstrukcija u SR Hrvatskoj
stručni rad 53

Cestovna dokumentacija 57

POZIV NA KOLEKTIVNO UČLANJENJE

Časopis »Ceste i mostovi« izdaje Savez društava za ceste Hrvatske, član Saveza društava za putove Jugoslavije.
Pozivamo sve kolektive čija je djelatnost vezana za područje cestogradnje, mostogradnje i cestovnog prometa općenito da se učlane u Savez društava za ceste Hrvatske.

Osnovna je svrha časopisa »Ceste i mostovi« da upoznaje članstvo s najnovijim dostignućima i iskustvima u projektiranju, građenju, održavanju i svim akcijama na unapređenju cestovne mreže.

Kolektivna članarina određuje se srazmjerno veličini i značenju poduzeća — kolektivnog člana, a najniža može iznositi 1.000 dinara.

Kolektivni članovi, uplatom članarine, besplatno primaju časopis. Godišnja prepilata: za poduzeća — 300.— dinara; za ostale pretpilatinke — 180.— dinara; za inozemstvo — 72 US dolara.

Pojedini primjerci: za poduzeće — 100.— dinara; primjerek u podaju 40.— dinara.

Članovi Saveza društava za ceste Hrvatske, uplatom članarine, stječu pravo na besplatno primanje časopisa. Godišnja članarina je od 180.— dinara.

Cijena oglasa: omoftna stranica — 6.000.— dinara; unutarnja 1/1 — 5.000.— dinara, 1/2 — 3.600.— dinara, 1/4 — 2.500.— dinara; inozemni oglasi: 1/1 — 660 US dolara, 1/2 — 500 US dolara, 1/4 — 350 US dolara.

Urednički odbor:

Danko Milnarić, dipl. inž., Zagreb, glavni i odgovorni urednik,
prof. dr Branimir Babić, dipl. inž., Zagreb, mr Jovo Beslač, dipl. inž., Zagreb, Dušan Deković, inž., Rijeka, Krešimir Duić, dipl. inž., Zagreb, Endy Jakić, dipl. inž., Split, Stanko Kovač, dipl. inž., Zagreb, mr Mladen Lamer, dipl. inž., Zagreb, mr Ivan Liović, dipl. oec., Zagreb, Tomislav Megia, dipl. inž., Zagreb, Josip Novak, dipl. inž., Zagreb, Branka Pergorec, dipl. oec., Zagreb, Zvonko Pilko, dipl. inž., Zagreb, Franjo Pregorec, dipl. oec., Zagreb, dr Zdravko Ramljak, dipl. inž., Zagreb, Josip Sekopeć, dipl. inž., Zagreb, Karlo Telen, inž., Zagreb, Vladimir Weber, dipl. inž., Zagreb.

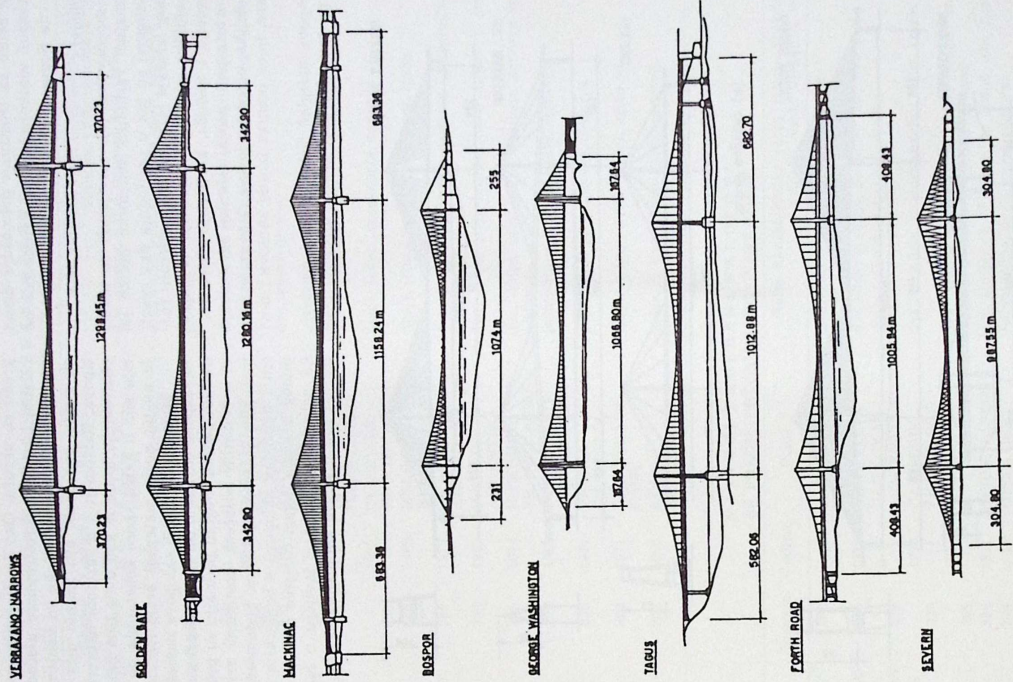
Tehnički urednik: Mirjana Zec, prof.

Klasifikacija i indeksiranje po UDK i IRRD: Marko Peručić

Grafička obrada: Branko Zlatmalik

Časopis izlazi mjesečno.

Tisak: NISRO »Vjesnik« — OOUR TMG — Pogon YS
Časopis izdaje Savez društava za ceste Hrvatske, Zagreb, Vontuina ulica 3, tel. 445-422/63, pošt. pret. 673, žiro-račun 30102-678-271



Slika 1 — Uzdužne dispozicije nekih visećih mostova

Maksimalni mogući raspon bi se mogao odrediti prema izrazu:

$$L = \frac{g + p}{W} \cdot \gamma \cdot \sec \theta \cdot n \quad (1)$$

Kada je sam kabel dostatan za premoštenje neke prepreke, kao kod visokonaponskih dalekovoda, trebalo bi uzeti $\tau \text{ dop} = 1,550.000 \text{ kPa}$ i $(g + p)/W = 1,0$. Tada se, prema težini kabla po dužnom metru; $\gamma \sec$ = specifična težina čelika; θ = kut nagiba kabla na vrhu pilona prema horizontali; n = odnos raspona i strelice kabla. Usvoje li se sljedeće vrijednosti: $\tau \text{ dop} = 620.000 \text{ kPa}$ (za Si-155 i $v = 2,5$); $(g + p)/W = 1,5$ prema ekstrapolaciji vrijednosti ovih odnosa za izvedene mostove [1]; $\gamma \sec = 77 \text{ kN/m}^3$; $\sec \theta = 1,15$ za $\theta \approx 60^\circ$; $n = 10$; dobije se prema (1) za maksimalni mogući raspon visećih mostova $L = 3.700 \text{ m}$.

Kada se dobije preko izraza za maksimalnu silu u kabelu. U izrazu (1) imamo sljedeće oznake: L = raspon u metrima; $\tau \text{ dop}$ = dopušteno vlačno naprezanje u kabelu u kPa; $(g + p)/W$ = odnos stalnog i pokretnog tereta prema težini kabla po dužnom metru; $\gamma \sec$ = specifična težina čelika; θ = kut nagiba kabla na vrhu pilona prema horizontali; n = odnos raspona i strelice kabla.

P. Marović, V. Herak—Marović

Tip mostovne konstrukcije	Stupanj efikasnosti ili oboje	Tip mostovne konstrukcije	Maksimalno mogući raspon u (m)
Viseći mostovi	najefikasnije (zbog oblika i upotrebe visokovrijedne žice)	viseći most ili zauzdani sklop	3700
Čisti vlak (kablovi)	efikasno	lučni most	1400
Čisti vlak ili tlak savijanje	efikasno	rešetkasti sklop	1200
	umjereno efikasno	gredni most	tendencija da zamijeni rešetkasti sklop

Sadašnji rekord drži most Humber s rasponom od 1.410 m, te je tako Evropa povratila primat nakon više od šest desetljeća prevlasti Amerike. Izgleda da ovo neće biti za dugo, jer se u Hong Kongu čeka odluka vlasti o početku izgradnje mosta Tsing Ma koji će imati raspon od 1.413 m. Uvidom u tabelu 2, kao i opširnijim tabelama u [1] i [8], gdje su navedeni i ostali viseći mostovi, vidljiva je dugogodišnja prevlast Amerike, gdje se šezdesetih godina ubacuje Evropa, a zadnjih godina i Japan. U Japanu se pripremaju projekti za mostove Kojima-Sakaide raspona 940 m, 960 m i 1.100 m, kao i budućeg rekordera mosta Akashi raspona 1.514 m [6].

Uz to, već dugi niz godina čeka se na premoštenje Mesinskog tjesnaca, gdje rasponi variraju prema različitim projektima od 1.300 m do 3.000 m [16]. Većina ovih projekata nije, po tipu, čisti viseći most, nego su u kombinaciji sa zavješanim sklopovima.

3. TIPOVI MOSTOVNIH KONSTRUKCIJA

3.1. Viseći mostovi

Viseći mostovi, pogodni prvenstveno za velike rasponne, već dugi niz godina zadržavaju apsolutni primat po većini raspona.

Glavni nosivi elementi ovog tipa mostovnih konstrukcija su kablovi od hladno vukanih paralelnih složenih (najčešće) ili spiralno uvijenih žica. S njih se spuštaju vertikalne ili kose vješaljke koje nose gredu za ukruto, odnosno nosač kolničke konstrukcije. Ona je obično rešetkasta konstrukcija, a u novije doba i sandučasti nosač pogodnog aerodinamičkog oblika. Kablovi su razapeti između dva visoka pilona koji su čelični (pretežno u Americi) ili betonski (pretežno u Evropi) i usidreni u krajnje oslonce.

Tabela 2. NAJVEĆI VISEĆI MOSTOVI

MOST	Raspon	Godina	Položaj	Neke karakteristike
1. HUMBER RIVER	1410	1981.	HULL, ENGLESKA	Četiri trake, A.B. tornjevi, sandučasti nosač s ortotropnom pločom
2. VERRAZANO-NARROWS	1298	1964.	NEW YORK, USA	Dvanaest traka u dva nivoa
3. GOLDEN GATE	1280	1937.	SAN FRANCISCO, USA	Šest traka, izvedba donjeg sprege 1954
4. MACKINAC STRAITS	1158	1957.	MICHIGAN, USA	Četiri trake
5. BOSFOR	1074	1973.	ISTANBUL, TURSKA	Šest traka, sandučasti nosač s ortotropnom pločom
6. GEORGE WASHINGTON TAGUS (SALAZAR)	1067 1013	1931. 1966.	NEW YORK, USA LISABON, PORTUGAL	Četnaest traka u dva nivoa, drugi nivo dodan 1959-1962. Četiri trake na gornjem i dvije željezničke na donjem nivou
8. FORTH ROAD	1006	1964.	QUEENSFERRY, ŠKOTSKA	Četiri trake, dvije biciklističke i pješake, ortotropna ploča, prvi evropski veliki viseći most
9. SEVERN	988	1966.	BEACHLEY, WALES	Četiri trake, sandučasti nosač s ortotropnom pločom
10. OHNAFUTO	876	u gr.	HONSHU-SHIKOKU, JAPAN	Šest traka + dvije željezničke
11. TACOMA-NARROWS	853	1950.	TACOMA, USA	Četiri trake, obnovljen poslije rušenja 1940.
12. INNOSHIMA	770	u gr.	HONSHU-SHIKOKU, JAPAN	Četiri trake
13. ANGOSTURA	712	1967.	CIUDAD BOLIVAR, VENEZUELA	
14. KANMON STRAITS	712	1973.	HONSHU, JAPAN	Šest traka
15. SAN FRANCISCO-OAKLAND BRONX-WHITESTONE	704 701	1936. 1939.	SAN FRANCISCO, USA NEW YORK, USA	Dva jednaka glavna raspona s centralnim sidrenjem, deset traka u dva nivoa
				Šest traka, pojačano rešetkom 1946.

L = 14.000 m, što skoro za trostruko premašuje dosad najveći izvedeni raspon visokonaponskog dalekovoda od 4.900 m preko fjorda Sogne u Norveškoj.

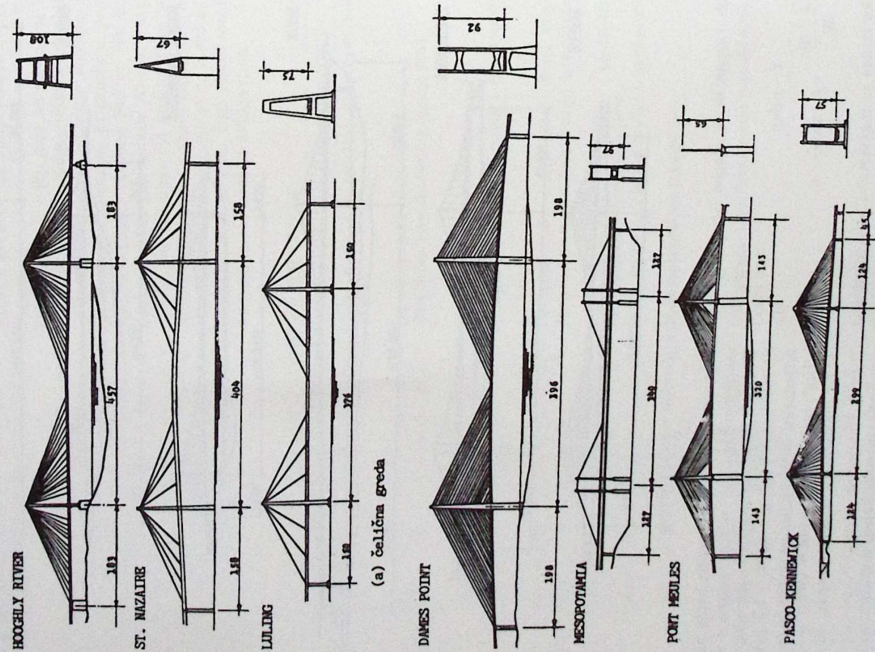
3.2. Zauzdani sklopovi

Iako poznati od davnina [9], razvijajući se tokom vremena i poprimajući raznolike sistemske oblike [9] i [11], zauzdani sklopovi su tek u posljednja dva desetljeća došli do punog izražaja [12]. Na to su utjecali: razvojni statički i dinamički analize konstrukcija uz napredak analitičkih teorija i metoda, korištenje električnih računala, razvoj ortotropnih ploča, tehnike zavarivanja i visokovrjednih čelika, poboljšanje kvalitete materijala za kablove i ankerne, nove tehnike izrade kablova i novi načini montaže.

Zauzdani sklopovi, naizgled slični visokim mostovima, razlikuju se po tome što kose zatege direktno nose

gredu za ukrutu. Ona je ili čelični sandučasti odnosno rešetkasti nosač s ortotropnom pločom ili prednapregnuti sandučasti nosač. Kako su kablovi elastični oslonci za gredu, ona može biti znatno niža nego kod drugih tipova. Razlika je i u razdobi naprezanja duž kabla, s obzirom na to da je kod ovog tipa mostovnih konstrukcija sila u kablu skoro konstantna po cijeloj dužini, te je na taj način materijal bolje iskorišten.

Mostovi zauzdanih sklopova najčešće se primjenjuju za raspone od 150 m do 400 m. Sedesetih i ranih sedamdesetih godina u ovom području su prevladavali sklopovi s čeličnim nosačem, dostigavši rekordni raspon na mostu St. Nazaire od 404 m. Sedamdesetih godina započnje napredak sklopova s betonskim nosačem, gdje do punog izražaja dolazi svojstvo betona da preuzima tlačna naprezanja, koja se javljaju u horizontalnoj gredi uslijed sila u kosim kablovima. Ovdje primat nosi most



(b) betonska greda

Slika 2 — Uzdužne i poprečne dispozicije mekih zauzdanih sklopova

Tabela 3.

NAJVEĆI ZAUZDANI SKLOPOVI
(a) ORTOTROPNI ČELIČNI NOSAČ

MOST	Raspon	Godina	Položaj	Neke karakteristike (broj pilona i oblik, broj ravniina kablova, vrsta ovješnja, itd.)
1. HOOGHLY RIVER	457	u gr. INDIJA	KALKUTA, INDIJA	dva složena, dvije, pramen, šest traka
2. ST. NAZAIRE	404	1975.	ST. NAZAIRE, FRANCUSKA	dva, dvije, pramen, četiri trake, cestovni
3. STRETTO DI RANDE	400	1978.	VIGO, SPANJOLSKA	cestovni
4. LULING	376	u gr. LULING, USA	SPANJOLSKA	dva A, dvije, snop-lepeza, četiri trake
5. DUSSELDORF-FLEHE	368	1978.	DUSSELDORF, SR NJEMAČKA	jedan obrnuti Y, jedna, harfa-viseprag, šest traka, cestovni
6. TjÖRN	366	1980.	ASKERO-FJORD, SVEDSKA	dva, cestovni
7. YAMATOGAWA	355	u gr. OSAKA, JAPAN	OSAKA, JAPAN	šest traka
8. MOST SLOBODE	351	u gr. NOVI SAD, JUGOSLAVIJA	NOVI SAD, JUGOSLAVIJA	dva I, jedna, snop-harfa, šest traka
9. DUISBURG-NEUENKAMP	350	1970.	DUISBURG, SR NJEMAČKA	dva I, jedna, snop-harfa, cestovni
10. WEST GATE	336	1978.	MELBOURNE, AUSTRALIJA	dva I, jedna, snop-lepeza, osam traka
11. BRAZO LARGO	330	1977.	GUAZU, ARGENTINA	dva, dvije, snop-lepeza, cestovni i željeznički
12. ZARATE	330	1977.	PALMAS, ARGENTINA	dva, dvije, snop-lepeza, četiri trake + jedna za željeznicu
13. KÖHLBRAND	325	1974.	HAMBURG, SR NJEMAČKA	dva, dvije, snop-harfa, zamjena kablova zbog korozije 1979, cestovni
14. KNIE	320	1969.	DUSSELDORF, SR NJEMAČKA	jedan duplo I, dvije, harfa, cestovni
15. ERSKINE	305	1971.	VELIKA BRITANIJA	dva, jedna, po jedno uže, cestovni
16. BRATISLAVA	303	1971.	BRATISLAVA, ČSSR	jedan A kosi, dvije, vodice, cestovni
17. SEVERIN	302	1960.	KÖLN, SR NJEMAČKA	jedan A, dvije, snop-harfa, cestovni

Tabela 4.

NAJVEĆI ZAUZDANI SKLOPOVI
(b) PREDNAPREGNUTI BETONSKI NOSAČ

MOST	Raspon	Godina	Položaj	Neke karakteristike (broj pilona i oblik, broj ravniina kablova, vrsta vješanja, itd.)
1. DAMES POINT	396	u gr. JACKSONVILLE, USA	JACKSONVILLE, USA	dva složena, dvije, harfa, cestovni
2. MESOPOTAMIA	340	1972.	ARGENTINA	dva složena, dvije, po jedno uže, dva nivoa
3. POSADAS-ENCARNACION	330	u gr. PARAGVAJ-ARGENTINA	PARAGVAJ-ARGENTINA	dvije trake + jedna željeznička
4. PONT MEULES (BROTONNE)	320	1977.	CAUDEBEC, FRANCUSKA	dva I, jedna, pramen-harfa, četiri trake, cestovni
5. PASCO-KENNEWICK	299	1978.	PASCO, USA	dva, dvije, snop-lepeza, četiri trake, montažni segmenti naknadno prednapregnuti, cestovni
6. WADI-KUF	282	1971.	BEIDA, LIBIJA	dva složeni A V, dvije po jedno uže, cestovni
7. OHIO RIVER	274	u gr. OHIO, USA	OHIO, USA	jedan, jedna, dvije trake, cestovni
8. TIEL	267	1972.	WAAL, NIZOZEMSKA	dva, dvije, snop-lepeza, cestovni
9. MANUEL BELGRANO	245	1973.	CORRIENTES, ARGENTINA	dva složena, dvije, snop-lepeza, dvije trake, montažni segmenti, cestovni
10. RAFANEL URUANEPA	235	1962.	MARACAIBO, VENEZUELA	tri složeni AV (dva raspona po 235 m) dvije, po jedno uže, cestovni
11. NEW LUANGWA	222	1968.	ZAMBIA	jedan, jedna, dvije, vodice-dvopreg
12. POLCEVERA	210	1967.	GENOVA, ITALIJA	tri složeni AV (dva raspona 210+202), dvije, po jedno uže, cestovni

Mesopotamia, raspona 340 m u Argentini [10]. Oba rekorda su ugrožena, jer se grade mostovi Hooghly raspona od 457 m i Dames Point od 396 m (tabele 3 i 4). Među sklopovima s čeličnim nosačem postoje projekti za mostove Igurojima i Hitsuishijima od po 420 m i Yokohama od 460 m u Japanu, Honfleur od 510 m u Francuskoj, kao i najčešnje varijante za mostove Groose Belt od 600 m u Danskoj i Kochertal od 648 m u SR Njemačkoj.