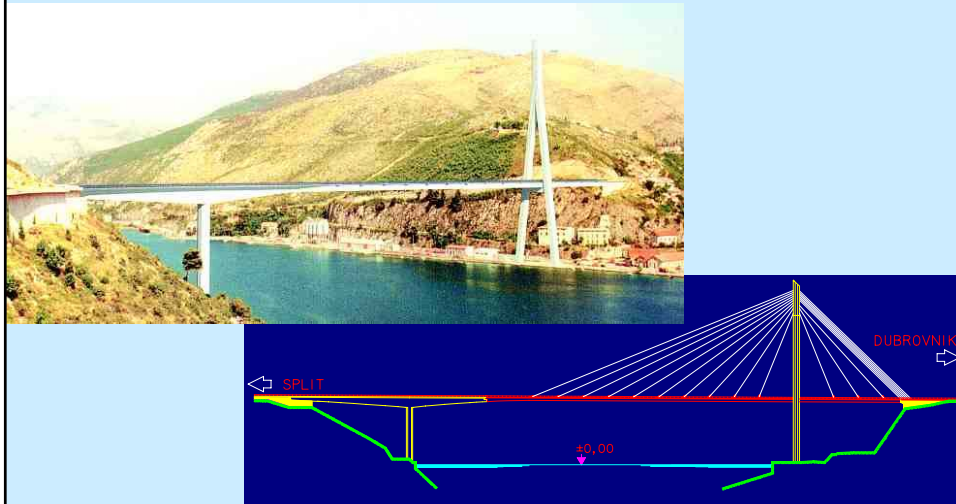


MOSTOVI SA KOSIM ZATEGAMA



- U toku posljednjih tridesetak godina mostovi sa kosim zategama doživljavaju spektakularan razvoj u cijelom svijetu.
- Ekonomičnost ovih mostova ne leži samo u odličnom iskorištenju materijala kod eksploatacije već i u jednostavnoj izvedbi konzolnom gradnjom bez pomoćnih skela, stupova i zatega.
- I ovi su sklopovi kao i mnogi drugi u čeličnim konstrukcijama bili ranije poznati, pa su i za betonske mostove većih raspona postali vrlo prihvatljiv sustav.



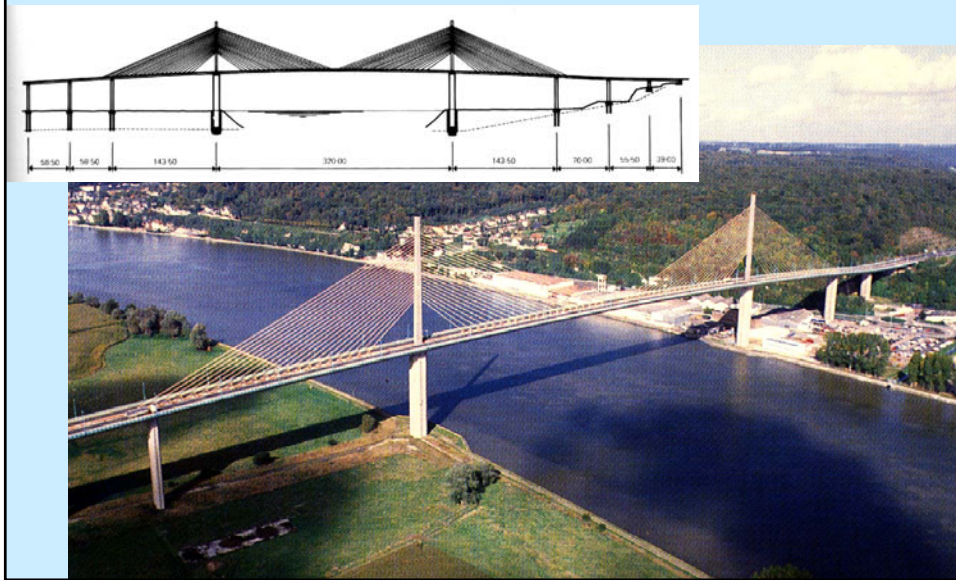
- Oblikovanju mostova sa kosim zategama valja posvetiti osobitu pozornost, jer su to nesvakidašnje konstrukcije, koje se jako ističu u prostoru.
- Dok su prvi veliki mostovi sa kosim zategama bili sa niskom niveletom, jer je takva bila topografija terena, (SR Njemačka je ravničarska zemlja), danas je izveden i veliki broj objekata sa visokom niveletom.
- Zbog atraktivnosti i male konstruktivne visine ovi se sastavi često koriste i od većih pješačkih prijelaza.
- Zavješeni most sa najvećim rasponom danas je most Tatara u Japanu i ima raspon 890m, to je čelični most, najveći most sa spregnutom gredom je Yangpu u Kini raspona 602m, dok je najveći betonski most Skarnsund u Norveškoj raspona 530m.

2. OPĆI PODACI I PODJELA MOSTOVA S KOSIM ZATEGAMA

2.1. UZDUŽNA DISPOZICIJA

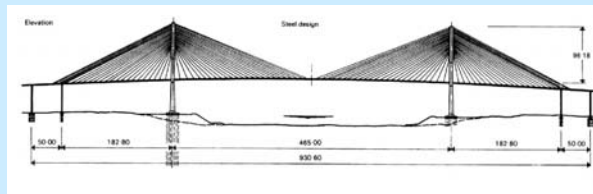
- Uzdužna dispozicija mostova sa kosim zategama ovisi o vrsti i obliku prepreke, dopuštenim gabaritima, ekonomiji, estetici itd.
- Na temelju uvida u izvedene ovještene mostove može se zaključiti da postoje tri osnovna sustava. Kad se radi o nesimetričnoj prepreci projektant obično predviđa most sa kosim zategama sa ekscentričnim pilonom npr. Knie most, i Most preko Rijeke dubrovačke

- Mostovi sa kosim zategama preko tri raspona sa dva pilona čine treći osnovni sustav, u pravilu je centralni otvor mnogo veći od bočnih i takva rješenja se najčešće koriste npr. most Brotonne

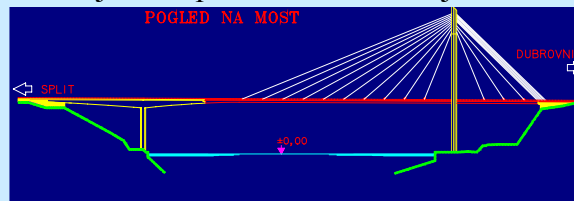


- Odnos bočnog raspona prema centralnom rasponu l/L kod ovog se standardnog sustava obično odabire 0.4 do 0.5.

- Što su bočni rasponi kraći to je manja varijacija momenata savijanja grede u njima i veća efikasnost stražnjih zatega uslijed povećane krutosti. Čini se povoljno daljnje smanjenje l/L ispod vrijednosti 0.4 no u tom slučaju dolazi do odizanja oslonaca na krajevima grede što stvara nove probleme.



- Kod asimetričnih mostova sa jednim pilonom odnos l/L je reda veličine 0.3 do 0.5.

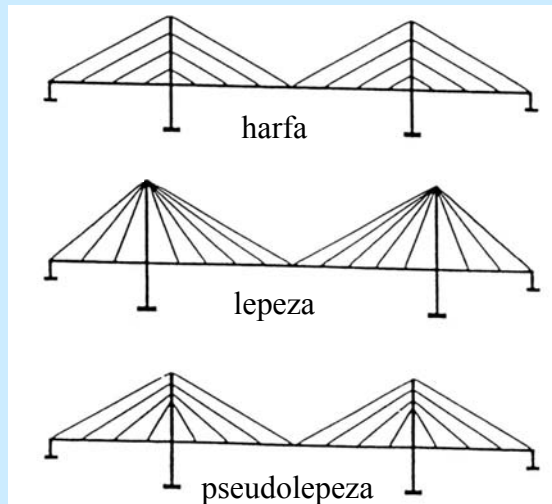


•Kako treba voditi računa i o umornosti zatega bočnih otvora koje su u tom pogledu najnepovoljnije napregnute odabir optimalnog odnosa l/L ovisi o primijenjenom materijalu grede i o namjeni mosta. Za čelične mostove odnos pokretnog i stalnog opterećenja je cca. 0.4, a za betonske cca. 0.2, dok za željezničke mostove iznosi oko 1.1 za čelične mostove, odnosno 0.6 za betonske mostove.

•Slijedi da za realizaciju optimalnog stanja napona bočne otvore čeličnih mostova treba odabirati manje nego betonskih mostova.

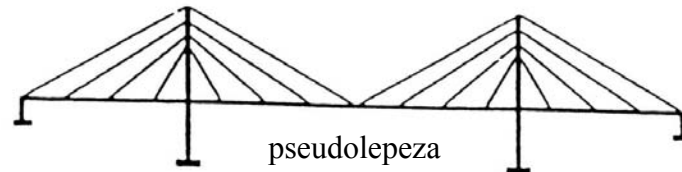
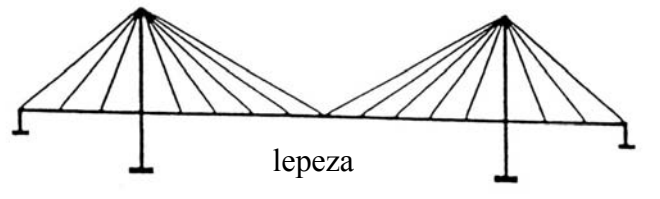
•Odabir dispozicije zatega je od primarnog značaja. Za ilustraciju troškovi za zatege su od mosta Brotonne iznosili 29% ukupnih troškova mosta, a za pilon samo 4%.

•Razlikujemo tri različite uzdužne dispozicije zatega: harfa, lepeza i pseudo-lepeza

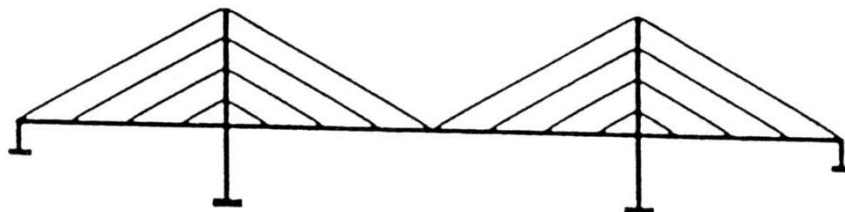


- Kod lepezaste dispozicije sve zatege konvergiraju na vrhu pilona, što stvara probleme kod usidrenja i stoga se rijede izvodi.

- Kod pseudo-lepezaste dispozicije su zatege kontinuirano rasprostrte po gornjem dijelu pilona, čime se olakšava sidrenje. Ova dispozicije se zbog ekonomije najčešće izvodi.



- Raspored u obliku harfe sa estetskog stanovišta predstavlja najelegantnije rješenje za dvije ravnine zatega, jer zatege ostaju paralelne bez obzira na kut gledanja. Priklučci zatega pod istim kutom olakšavaju izvedbu, a i stabilnost pilona se povećava jer se zatege hvataju na cijeloj visini. Međutim u konstruktivnom pogledu ovaj sustav zahtjeva veću količinu zatega, proizvodi veće tlačne sile u gredi i daje zamjetne momente u pilonu.



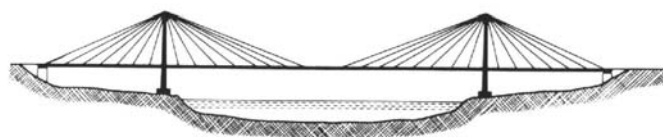
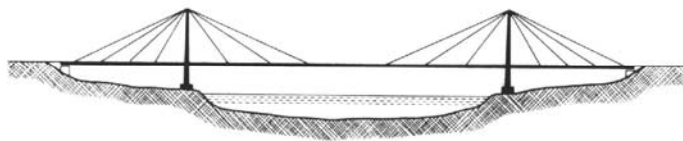
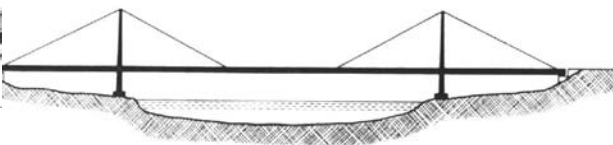
- Prvi moderni mostovi sa kosim zategama su izvedeni sa 2 do 6 redova zatega u centralnom otvoru i međurazmacima između zatega 30 do 70 m. To je iziskivalo veliku krutost grede i komplicirana usidrenja zatega na gredi i pilonima, a i montaža je bila složena sa primjenom velikog broja pomoćnih konstrukcija.

- Visina grede prema rasponu h/l iznosila je oko $1/70$ i više.

- Danas se najvećim dijelom grade mostovi druge generacije sa mnogo zatega. Međurazmaci zatega na gredi iznose 5 do 15m za betonske grede odnosno 10 do 20 m za čelične grede. Što je prije bila greda na elastičnim osloncima, kod ovog sustava postaje tlačni pojas konstruktivnog sistema obješenog na pilone



•Razvoj mostova sa kosim zategama



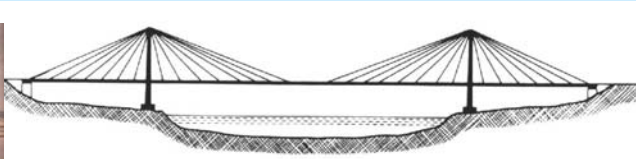
•Prednosti sustava sa puno zatega su:

-jednostavnost montaže koja sukcesivno napreduje uz ugradbu slijedećih zatega

-pojednostavljenje prijenosa sila uslijed smanjenja koncentriranih sila kod usidrenja i momenata savijanja kod grede

-lakoća zamjene zatega ako se za to ukaze potreba, bez prekida prometa, jer se uklanjanjem pojedine zatega vrlo malo mijenja distribucija unutarnjih sila

-odlične aerodinamičke karakteristike uvjetovane velikim sustavnim prigušenjem od velikog broja zatega različite duljine i frekvencije oscilacija.

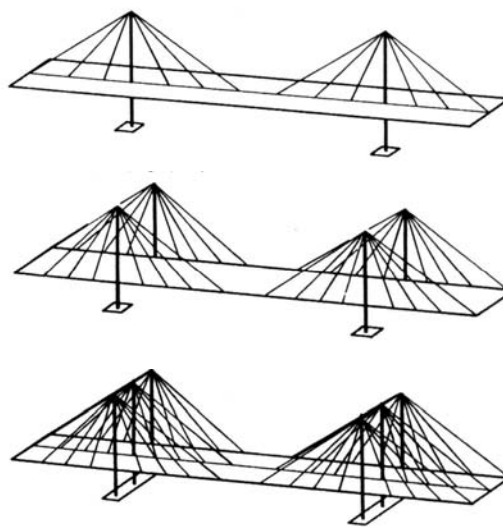


•U statičkom pogledu ovaj se sustav može shvatiti kao konzolna rešetka, a krutost grede mora biti samo tolika da se osigura sigurnost na izvijanje i da deformacije od prometnog opterećenja ne budu velike.



2.2. POPREČNA DISPOZICIJA

• Osnovna dilema je u odabiru **rasoreda zatega u jednoj ravnini (aksijalno) ili u dvije ravnine (lateralno)**, jer o tome direktno ovisi oblikovanje poprečnog presjeka grede i pilona kao i statički i dinamički odgovor konstrukcije mosta

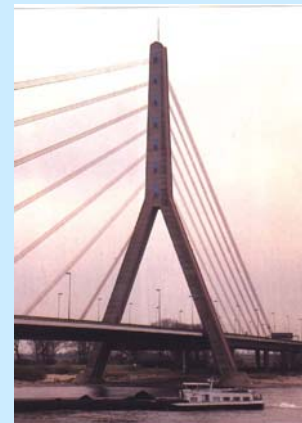


• Aksijalno ovješeno u jednoj centralnoj ravnini mosta koristi se kod cestovnog prometa u dva smjera odijeljenih zaštitnim pojasom (presjek autoceste). Naravno da taj zaštitni pojas mora biti dovoljno širok, ako se pilon želi locirati unutar njega, a na cijeloj duljini se mora predvidjeti i osiguranje od udara vozila u kotve zatega u vidu jakih odbojnika na dovoljnoj udaljenosti do kotvi.

• Poprečni presjek grede nužno se mora oblikovati kao torziono vrlo kruti sanduk, da bi se mogla preuzeti nesimetrična opterećenja.



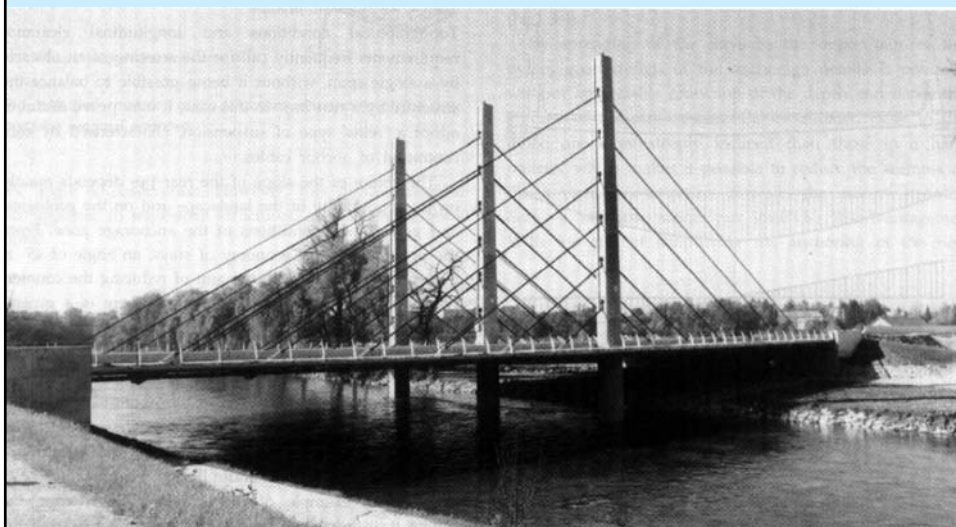
• Leonhardt smatra da aksijalno ovješeno dolazi u obzir kod raspona do cca. 300m, iako su tehnički moguća rješenja sa daleko većim rasponima (Flehe, Brotonne, Dao Kanong, ali na uštrb ekonomije).



- Dvije ravnine zatega mogu biti vertikalne ili nagnute jedna prema drugoj sa sjecištem iznad uzdužne osi mosta
- Druga konfiguracija predstavlja optimalno rješenje.
- Piloni, greda i zatega u tom slučaju čine prostornu rešetku i nemogući su diferencijalni pomaci usidrenja dviju zatega.
- Poprečni presjeci grede se pojednostavljaju i kod mostova sa mnogo zatega mogu biti vrlo vitki ($h/H=150-400$).
- Torzijska krutost se realizira konstruktivnim sustavom i u principu nije potrebna za samu gredu, iako se kod velikih raspona ipak koristi za dodatno povećanje aerodinamičke stabilnosti grede gotovog objekta i naročito montažnih stanja.

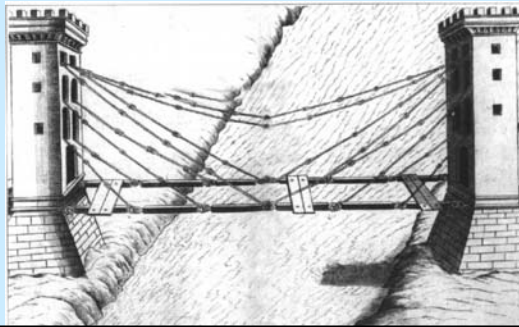


- Sagrađeni su i neki mostovi sa tri ravnine ovješnja kao npr. most u Ljubljani.

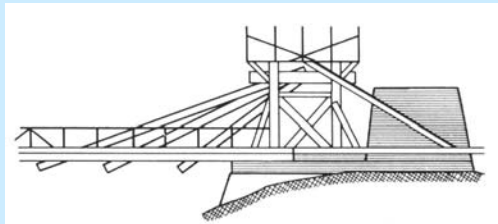


3. POVIJESNI RAZVOJ MOSTOVA SA KOSIM ZATEGAMA

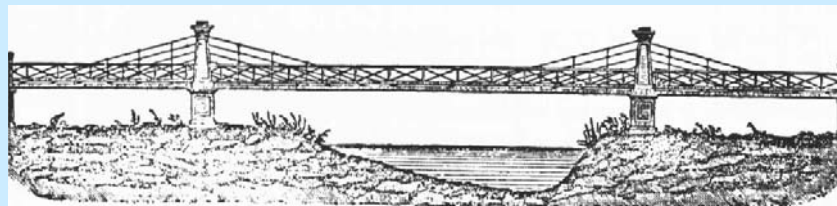
- Već su stari Egipćani koristili ideju ovješnja kod projektiranja brodova vješajući jedra na jarbol.
- Skica za prvi lančani most sa mnoštvom kosih lanaca venecijanskog graditelja Faustusa Verantiusa (Fausta Vrančića) rodom iz Dalmacije nastala je tek 1617. Godine



- Imanuel Loescher iz Freiburga - teorijski rad za most sa kosim zategama izveden od drva (1784)

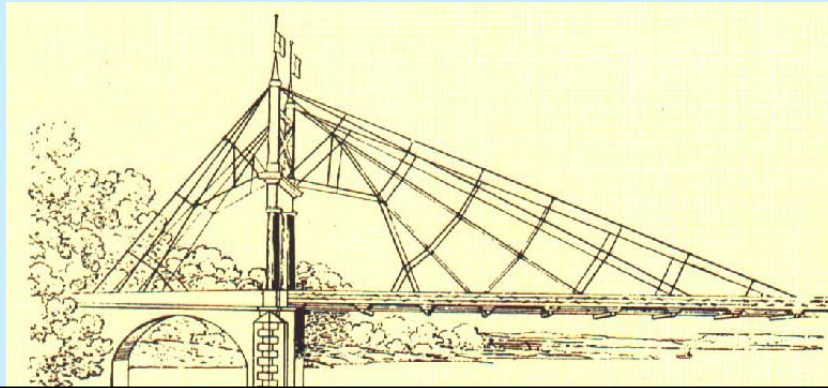


- prvi autentični uspješni most sa kosim zategama postaje Twerton most preko rijeke Avon raspona 36.6m iz godine 1838, projektant T. Motley



- Početkom XIX stoljeća izvedeno je još nekoliko mostova sa kosim zategama ali su se neki od njih srušili kao most preko rijeke Saale kod Nienburga

- Most je sagrađen 1824 a srušio se 1825, uzrok rušenja nikad nije bio službeno objavljen, vidljivo da zatege slijede neobične linije što je uzrokovalo velike momente drugog reda na koje konstrukcija nije bila dimenzionirana.



- To je prouzročilo nepovjerenje prema takvim konstrukcijama , naročito nakon Navier-ovog zaključka da treba prednost dati visećim mostovima.

- Stvarne uzroke rušenja treba međutim tražiti u neshvaćanju kompliciranog hiperstatičkog sustava naročito obzirom na utjecaje temperature , konstruktivne nedostatke i neprikladnosti ondašnjih materijala za zatege.

- Viseći mostovi preuzimaju primat za veće rasponse, a kose zatege se ponekad koriste kao dodatni elementi za povećanje krutosti i povećanje aerodinamičke stabilnosti grede za ukrućenje

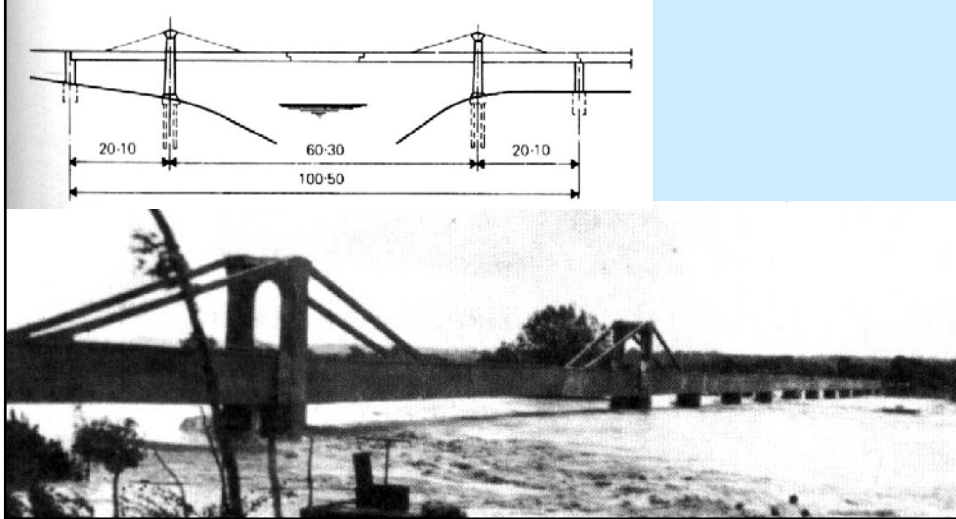
- Tako je J.Roebling koncipirao svoje remek djelo most Brooklyn u New Yorku (1867), ne na bazi računa no intuitivno.



- Slično konstruktivno oblikovanje zajedničkog djelovanja standardnih kablova visećih mostova i kosih zatega primijenjeno je kod mostova preko Moldave u Pragu (1868) i Albert mosta preko Temze u Londonu (1868).

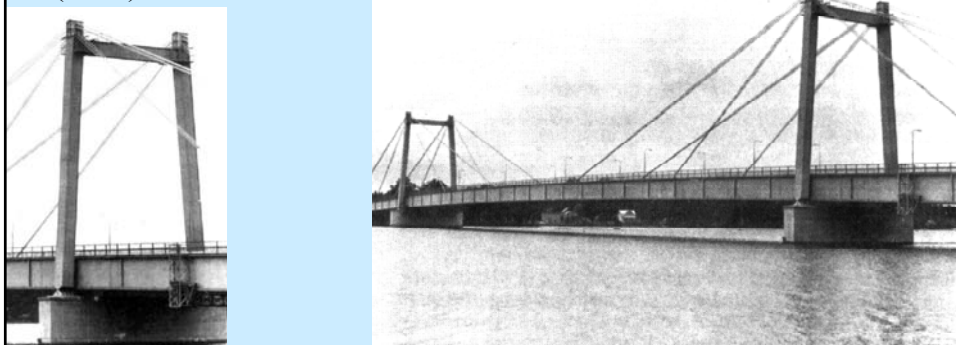


- Vrlo značajno ostvarenje je prvi armirano-betonski most sa kosim zategama, akvadukt Tempul kod Jereza de la Frontera u Španjolskoj, koji je projektirao poznati španjolski profesor Torroja.



- Evolucija modernih mostova sa kosim zategama od pedesetih godina ovog stoljeća - metode numeričke analize uz primjenu računala

- Te metode omogućuju proračun unutarnjih sila u konstruktivnim elementima za konačno stanje i za stanje montaže, a prvi puta su sistematski provedene za montažu prvog modernog mosta sa kosim zategama Stromsund u švedskoj (1956)



- Prvi veliki njemački most je Theodor Heuss most preko Rajne u Dusseldorfu (1957),
- Njegovom je uspješnom izgradnjom iniciran fascinantni razvoj ovog konstruktivnog sustava u početku gotovo isključivo u SR Njemačkoj gdje je trebalo obnoviti cijeli niz mostova porušenih tijekom II. Svjetskog rata.



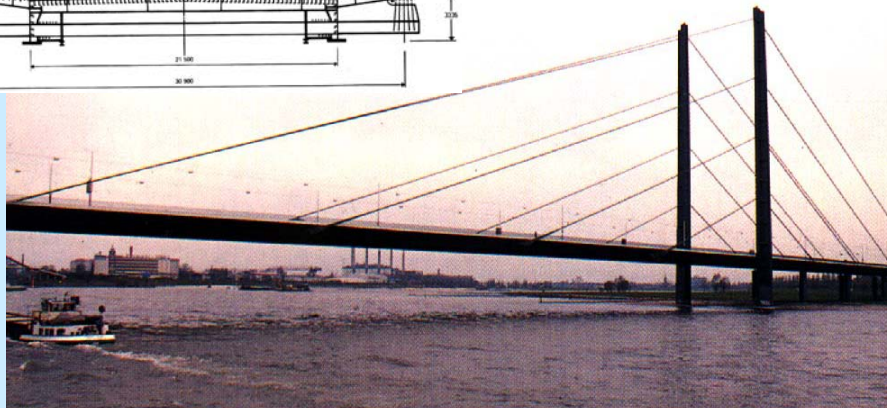
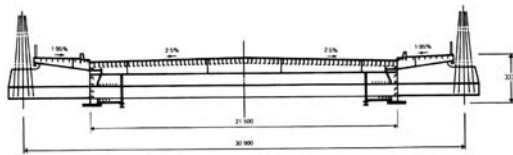
- Slijede Severins (1959) prvi izvedeni asimetrični most preko dva raspona sa A-pilonom



- Nordelbe prvi most sa zategama u jednoj ravlini (aksijalno)
- Friedrich Ebert (1967) prvi izvedeni objekt druge generacije mostova sa kosim zategama sa mnogo zatega. Implikacije ovog statičkog sustava čije je ponašanje slično gredi na elastičnoj podlozi za razliku od ponašanja sličnog kontinuiranom nosaču za prvu generaciju mostova sa kosim zategama sa malo zatega nisu odmah bile shvaćene.



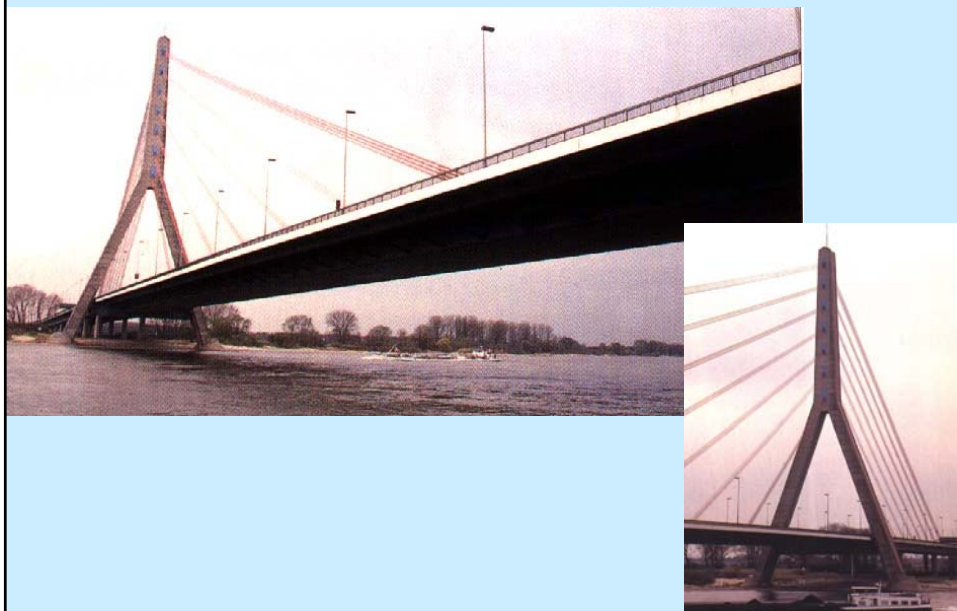
- Knie most (1969) je asimetrični most sa zategama u obliku harfe u dvije ravnine, sa stupovima ispod svih priključaka zatega na gredu u malom otvoru cime je efikasnost dvostrukog sistema harfe povećana do te mjere da je poprečni presjek bilo moguće oblikovati sa vrlo vitkim limenim nosačima bez torzione krutosti



- Sedamdesetih godina se u SR Njemačkoj gradi još desetak mostova sa kosim zategama
- Hoechst (1972) – betonska greda

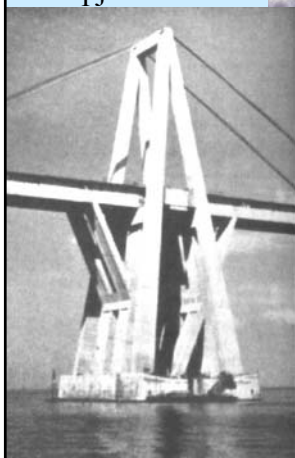


- Flehe (1979) – betonski pilon



- Nešto kasnije od prvih Njemačkih mostova sa kosim zategama R. Morandi projektira nekoliko mostova sa kosim zategama sa gredom i pilonima u betonu; Maracaibo (1962)

- Inženjerski zanimljivi objekti - u estetskom smislu nisu osobito uspjeti



- Kasnih sedamdesetih godina i ostali svijet prihvaća ove mostove , naročito Japan sa topografijom terena koja zahtijeva objekte velikog raspona.

- Japanski mostovi sa kosim zategama su kao i Njemački skoro isključivo izvedeni u čeliku.

- Ovješeni mostovi sa čeličnom gredom grade se u Velikoj Britaniji, Belgiji, Čehoslovačkoj, Španjolskoj, Nizozemskoj, Švedskoj, SAD, Tajlandu, u Novom Sadu sagrađen je 1981 most sa centralnim rasponom 351m, projektant je N. Hajdin sa suradnicima



- Dok su prvi francuski mostovi sa kosim zategama kao St. Nazaire (1975) nastavljaju njemačku tradiciju čelične grede sa ortotropnom pločom, most Brotone (1977) sa betonskim sandukom i gusto raspoređenim zategama u centralnoj ravnini predstavlja sasvim novo originalno rješenje.



- Kod kasnijih Morandijevih mostova zatege su obučene u betonsku oblogu, a isto je napravio C.Menn na mostu Ganter (1980)



- U Norveškoj je 1991. napravljen most Skarsundet raspona 530m sa betonskom gredom. Do danas je to najveći betonski most sa kosim zategama



- Najveći je most Tatara u Japanu raspona 890m, a ukupne duljine 2000m izveden 1999. godine u čeličnoj izvedbi.



4. OBLIKOVANJE

4.1. RASPONSKI SKLOP

- postojanje svih velikih mostova, pa i mostova sa kosim zategama omogućeno je prvenstveno razvitkom pogodnih materijala
- tehnologijom izvedbe
- boljim poznavanjem teorije konstrukcija, uključivo probleme stabilnosti, aerodinamičko ponašanje

•za određivanje podobnosti jednog materijala za velike raspone bitna su četiri svojstva materijala:

- **čvrstoća**
- **specifična težina**
- **krutost**
- **troškovi**

•Jedini materijali koji dolaze u obzir za izvedbu su beton i čelik. Ako ih usporedimo ustanovit ćemo da tlačna čvrstoća betona iznosi cca. 10% čvrstoće čelika.

•Mnogo više pokazuje nam odnos čvrstoća/specifična težina koji su u analizu prvi uveli aeronautički stručnjaci, a koji ima dimenziju jedinice duljine.

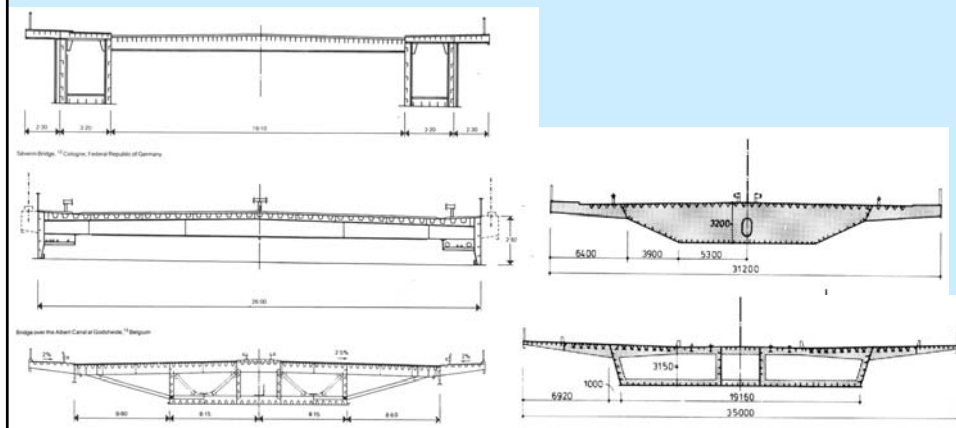
•Taj odnos za beton iznosi svega cca. 30% vrijednosti za čelik, što je mana masivnih konstrukcija, jer za preuzimanje korisnih opterećenja preostaje daleko manje ukupne čvrstoće nego kod čelika

•S druge strane progibi od prometnog opterećenja kod masivnih mostova su mnogo manji nego kod čeličnih mostova, odnosno krutost je mnogo veća

•Kod troškova, ako cijena za preuzimanje neke tlačne sile čelikom iznosi 100%, onda cijena za preuzimanje iste sile betonom iznosi samo 33% od čega samo 5% otpada na čisti beton a ostalo otprilike popola na oplatu i ubetoniranu armaturu.

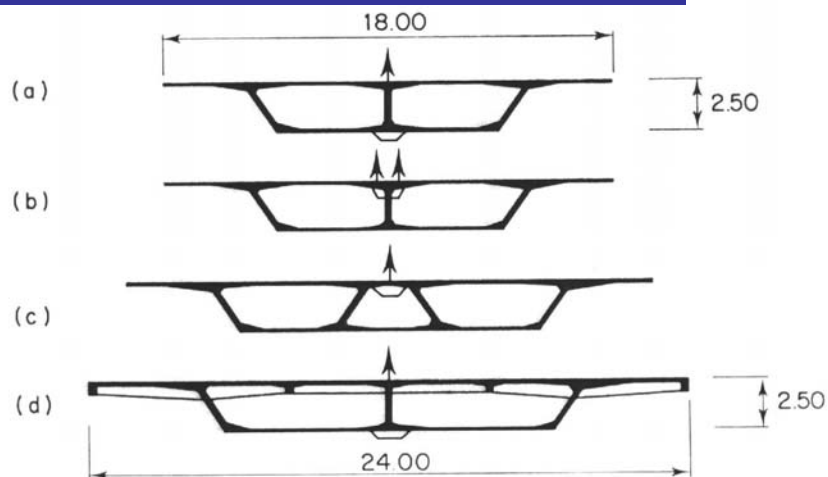
Iz svega toga možemo zaključiti:

- Kod mostova sa kosim zategama najvećih raspona kao materijal za gredu dolazi u obzir samo čelik zbog daleko povoljnijeg odnosa čvrstoće prema vlastitoj težini.
- Kod ostalih raspona odabir materijala je često uvjetovan lokalnim uvjetima, a mogući su čelični, betonski i spregnuti poprečni presjeci.

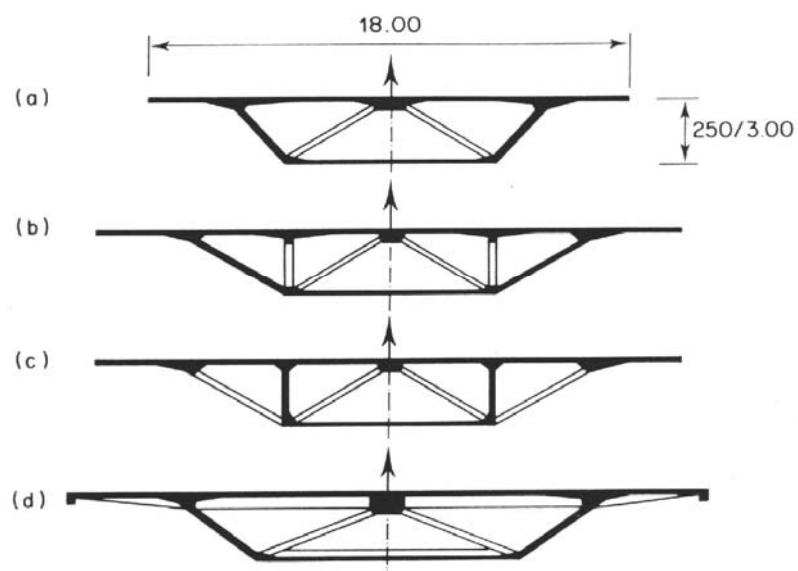


- Prednosti betonske grede leže u većoj krutosti, boljim karakteristikama prigušenja i manjim varijacijama napona u zategama uslijed manjeg utjecaja prometnog opterećenja i time povoljnijem ponašanju obzirom na umornost.

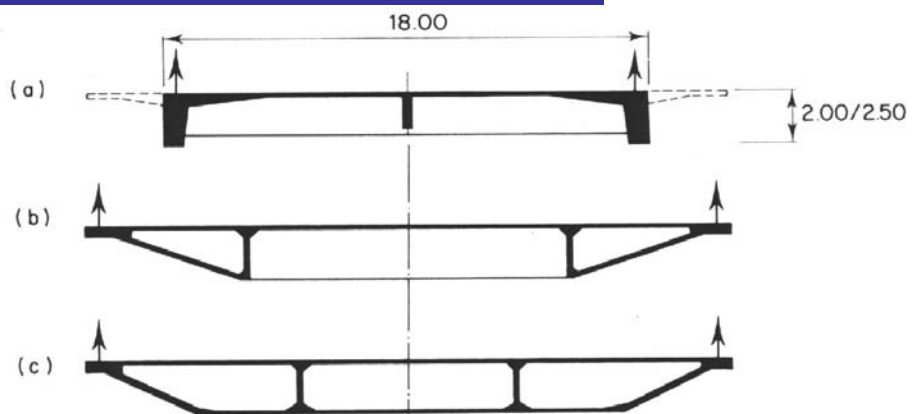
• Betonski sandučasti poprečni presjeci sa 3 ili 4 hrpta



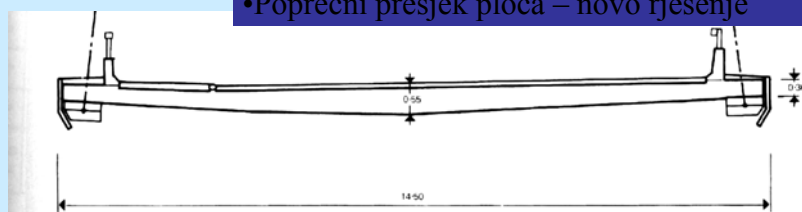
•Betonski sandučasti poprečni presjeci sa 2 hrpta



•Betonski presjeci za lateralno ovješnje



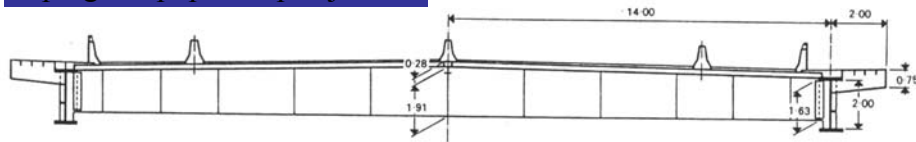
•Poprečni presjek ploča – novo rješenje



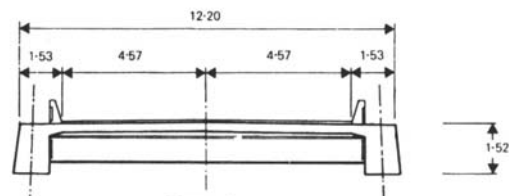
- Spregnuti presjeci su vrlo povoljni zbog jednostavnosti montaže, naročito kod mostova sa mnogo zatega kod kojih su momenti savijanja mali te su mogući vrlo vitki presjeci.

- Kombinacijom čelika i betona eliminira se nepovoljni utjecaj vlastite težine čiste betonske konstrukcije, a postiže se veća krutost u odnosu na čelične presjeke.

•Spregnuti poprečni presjek



- novi oblik poprečnog presjeka – betonski uzdužni nosači i ploča sa čeličnim poprečnim nosačima



4.2. PILONI

- Visina pilona ima veliki utjecaj na količinu materijala za zatege i uzdužne tlačne sile u gredi.

- Optimalna visina pilona ovisi o uzdužnoj dispoziciji zatega.

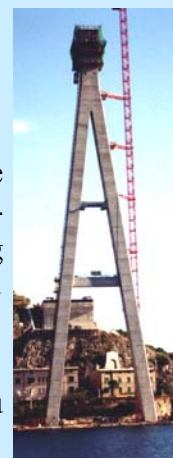
- Minimalna vrijednost količine čelika za zatege :

- $h/L=0.29$ lepeza

- $h/L = 0.50$ harfa, apsolutni minimum jer su sve zatege pod kutom 45 stupnjeva - teorijski značaj - zbog problema elastične stabilnosti i potencijalnog utjecaja vjetrova kod vrlo visokih pilona $h=(0.15-0.25)L$

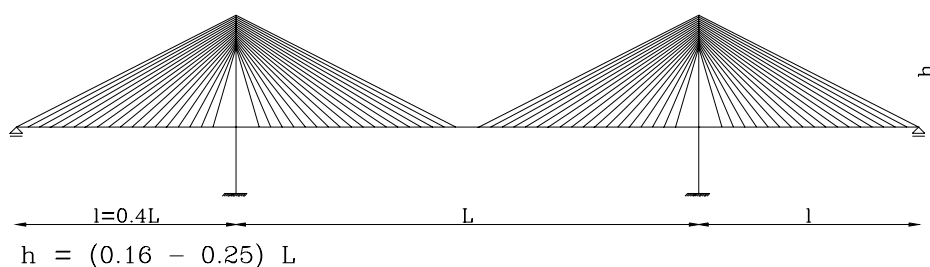
- Za raspone ispod 200m može se usvojiti i $h/L=0.3$.

- $h/L=0.2$ ušteda u zategama: 14% za pseudo-lepezu prema harfi, odnosno 18% za lepezu u odnosu na harfu.



Odnosi visine pilona i raspona mosta

- Za asimetrične mostove s jednim pilonom vrijede isti odnosi h/L s time da se L definira kao raspon velikog otvora uvećan s korekcijskim faktorom 1.8.



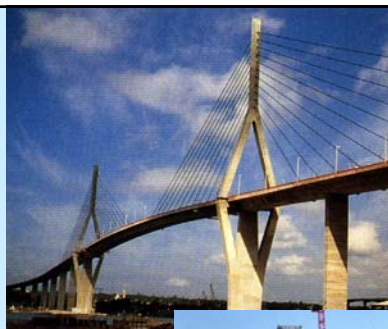
• piloni su u uzdužnom smjeru stabilizirani tzv. pridržavajućim zategama bočnih otvora

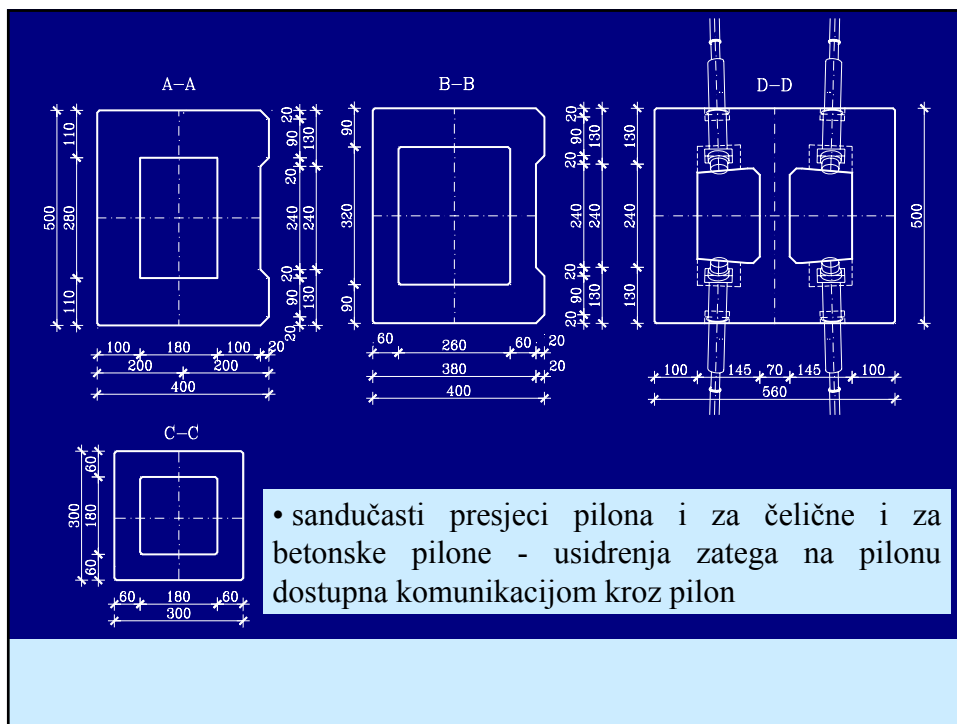
• fleksijska krutost pilona u uzdužnom smjeru – mala - utjecaj pokretnog opterećenja u pilonu prenosi se pridržavajućim zategama u bočnim otvorima a ne savijanjem pilona.

• Minimalna krutost pilona - potrebna sigurnost na izvijanje

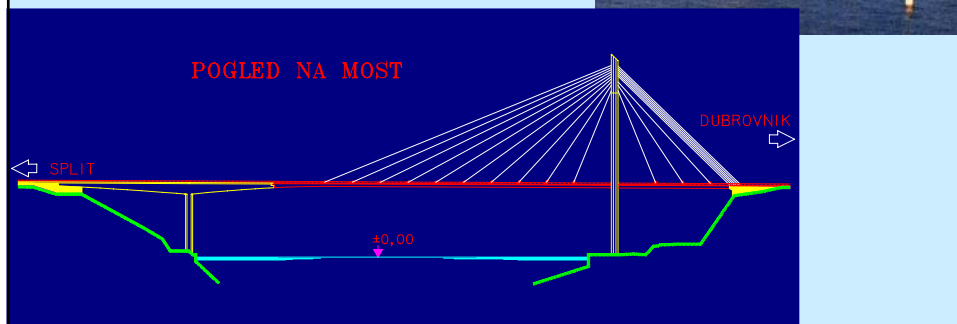
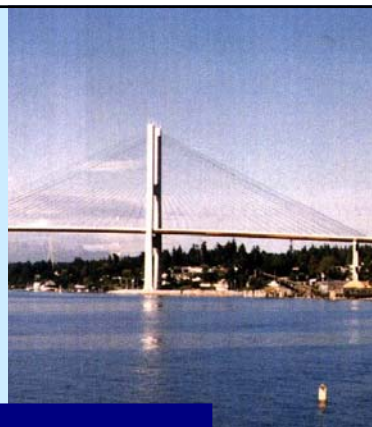
• U poprečnom smjeru se teži velikoj krutosti pilona, jer treba preuzeti horizontalne sile od vjetra i seizmičkog djelovanja.

• iskustva sa izvedenih objekata - betonski piloti ekonomičniji od čeličnih - razlika troškova raste s veličinom mosta

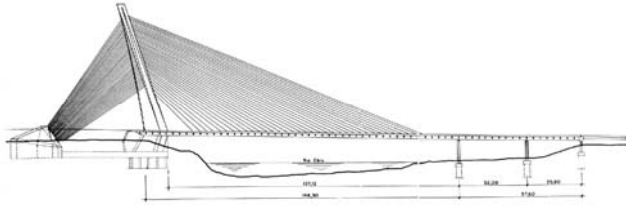




- najekonomičniji - vertikalni piloni
- zatega i greda čine konzolni sustav, krak unutarnjih sila neposredno iznad ležaja pilona treba biti najveći, što je kod vertikalnih pilona i slučaj.



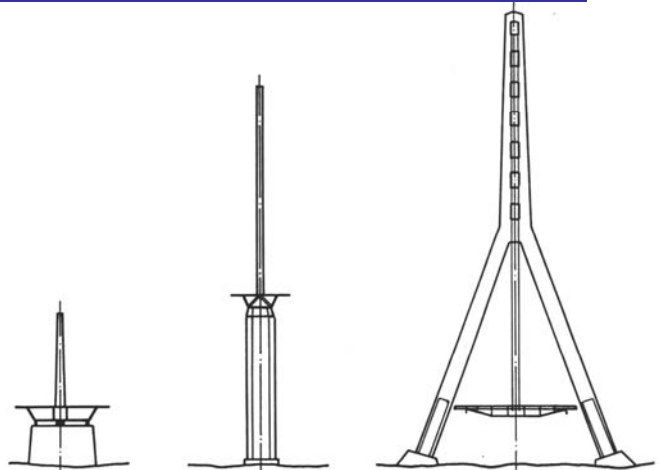
- U uzdužnom smjeru prema bočnom otvoru nagnuti piloni zahtijevaju kod istog kraka sustava nad osloncem više pilone



- Kod pilona nagnutih prema glavnom otvoru (most Batman) sustava visina se smanjuje od vrha pilona prema ležaju i pridržavajuće zatege bivaju jače opterećene nego kod vertikalnih pilona, da ne sopminjemo izvedbene teškoće i estetski dojam

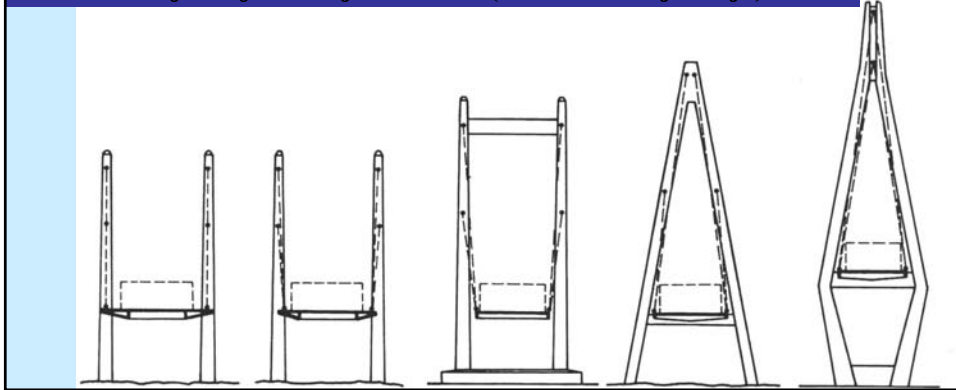
- Oblikovanje pilona u poprečnom smjeru ovisi o dispoziciji zatega, rasponu, visini nivelete, estetskim kriterijima itd.
- Svi sustavi pilona mogu se upotrijebiti i kod aksijalog i kod lateralnog ovješnja.

Piloni za ovješnje u jednoj ravнини (aksijalno ovješnje)



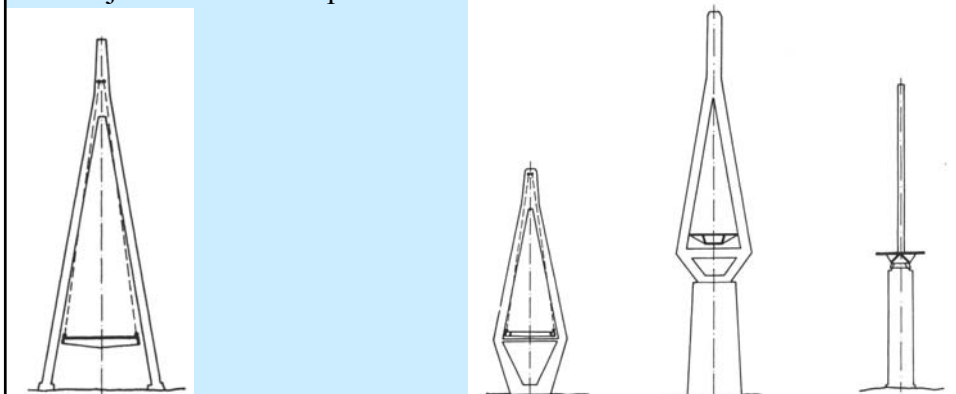
- Mostovi sa vitkim gredama i H pilonima su vrlo osjetljivi obzirom na aerodinamičnu nestabilnost “flutter”-a, jer su osnovne frekvencije fleksijskih i torzijskih oscilacija praktički jednake. Ako je visina pilona osjetno veća nego širina mosta koriste se okvirni piloni. Horizontalna greda na vrhu pilona omogućuje blago nagnjanje stupova pilona, te kod lateralnog ovješnja ravnine zatega ostaju vertikalne.

Piloni za ovješnje u dvije ravnine (lateralno ovješnje)

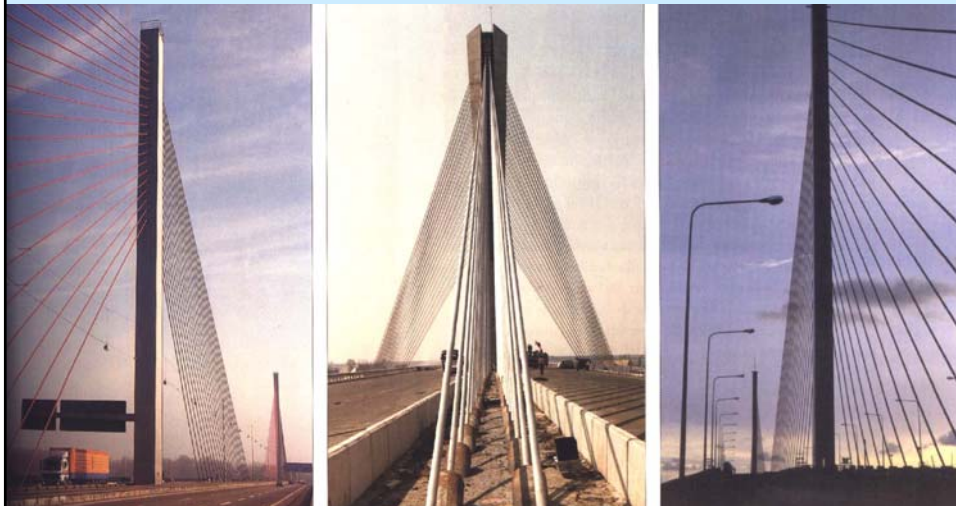


- Za najveće raspone najčešće se rade A piloni zbog velike krutosti u poprečnom smjeru, povećanja torzijske krutosti sustava i povoljnog estetskog dojma.

- Piloni su obično upeti u temelj ili stupove (samo dio iznad grede se često naziva pilonima), iako postoje i izvedbe sa upinjanjem u gredu i sa zglobnim oslanjanjem, kako bi temelji bili centrično opterećeni.



4.3. ZATEGE

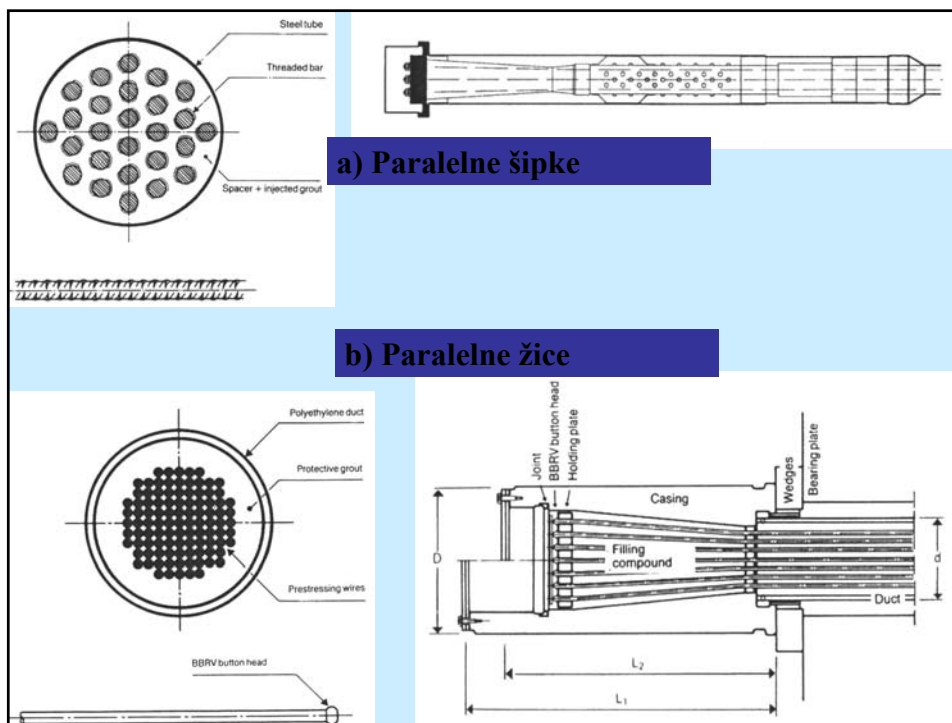


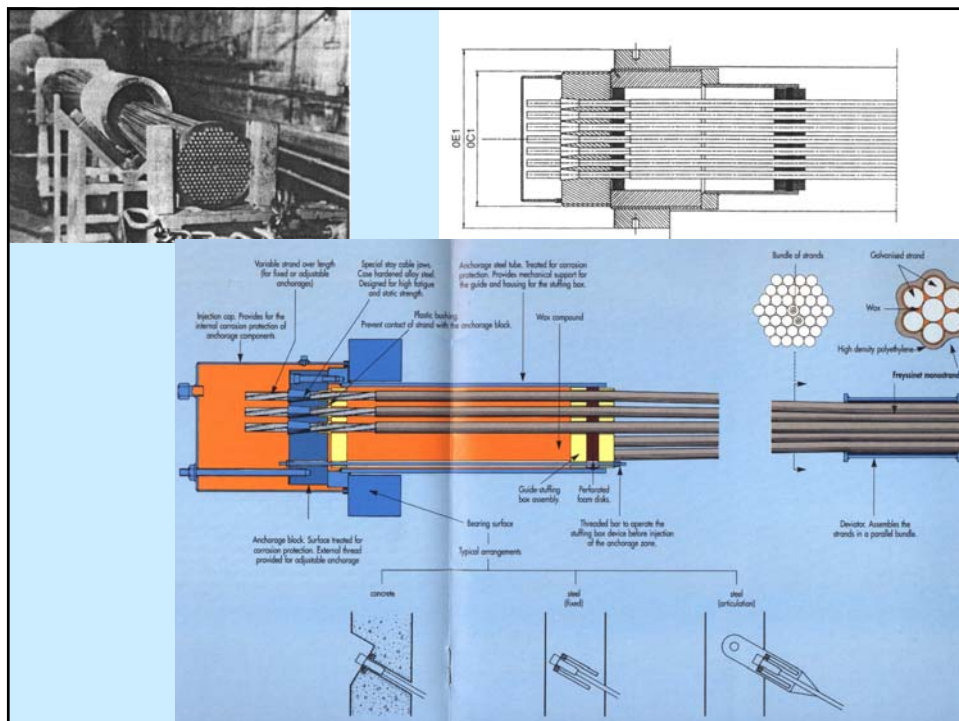
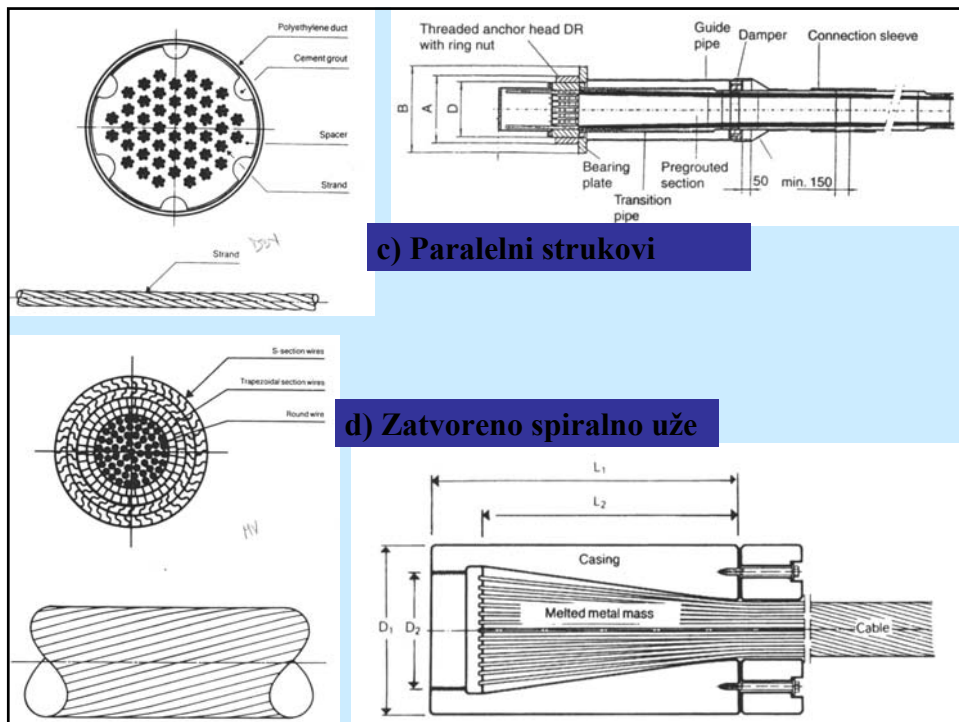
Zatege su osnovni element ovih mostova. Razvitak modernih mostova sa kosim zategama omogućen je prvenstveno primjenom visokovrijednog čelika za zatege na što je ukazao već F. Dischinger.

- Bitnu ulogu kod odabira materijala za zatege igraju, osim vlačne čvrstoće i modula elastičnosti antikorozivna zaštita i čvrstoća na zamor, konstruktivno oblikovanje kotvi i montaža.
- Modul elastičnosti vertikalnog ravnog kabela iznosi kod zatvorene spiralne užadi oko 155 kN/mm^2 , a kod paralelnih žica oko 205 kN/mm^2 .
- Koeficijent sigurnosti obzirom na vlačnu čvrstoću kod zatega iznosi tipično 2.2. Do tog nivoa napona može se pretpostaviti elastično ponašanje zatega i mogu se zanemariti efekti relaksacije.
- Kotve zatega moraju omogućiti točan unos projektiranih sila sa silama sloma ne manjim od sila sloma same zatega i u toku trajanja objekta ne smiju popuštati.



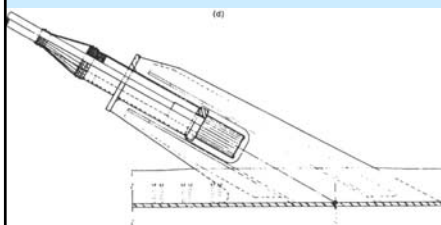
- Za razliku od standardnih kablova za prednapinjanje, smještenih unutar betonskog presjeka, zatege su izložene znatnim fluktuacijama napona od djelovanja pokretnog opterećenja, temperature, vjetra itd. te je njihova čvrstoća umornosti od primarne važnosti.
- Umornost mogu prouzročiti oscilacije zatega uslijed vjetra i pokretno opterećenje.
- Oscilacije zatega se mogu reducirati primjenom raznih prigušivača.
- U konstruktivnom pogledu bitno je da ne dođe do savijanja zatega kod usidrenja pa kotve treba postaviti u smjer tangente a ne sekantne krivulje predmetne zatega.
- Čvrstoća na umornost zatega prvenstveno ovisi o čvrstoći na umornost kotve.
- Zatege su obzirom na trajnost vrlo osjetljive te treba predvidjeti adekvatnu antikorozivnu zaštitu.



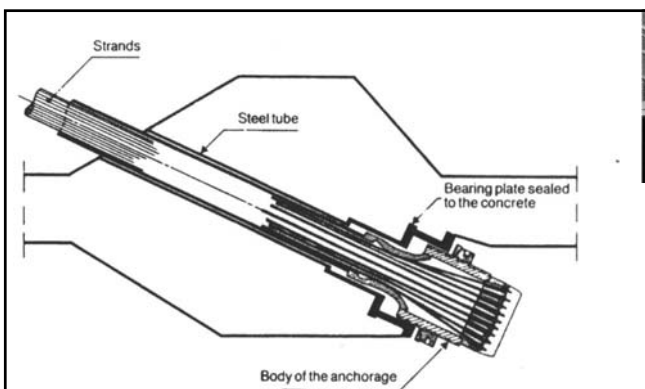
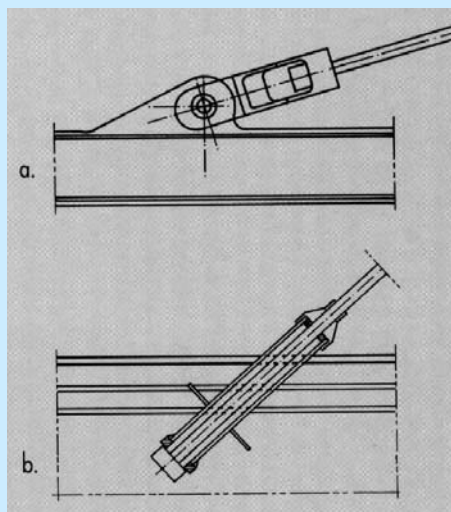


4.3.1. USIDRENJE ZATEGE

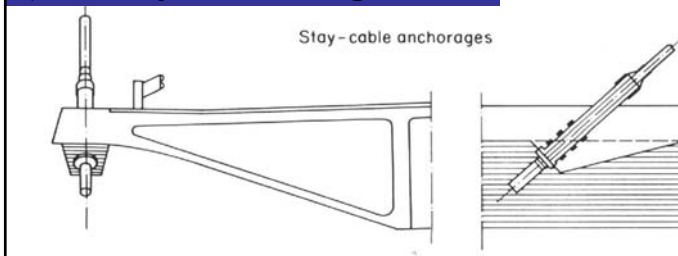
- Usidrenja zatega na gredu ovise o poprečnom presjeku, materijalu grede i načinu ovješnja



d) Usidrenje u čeličnu gredu

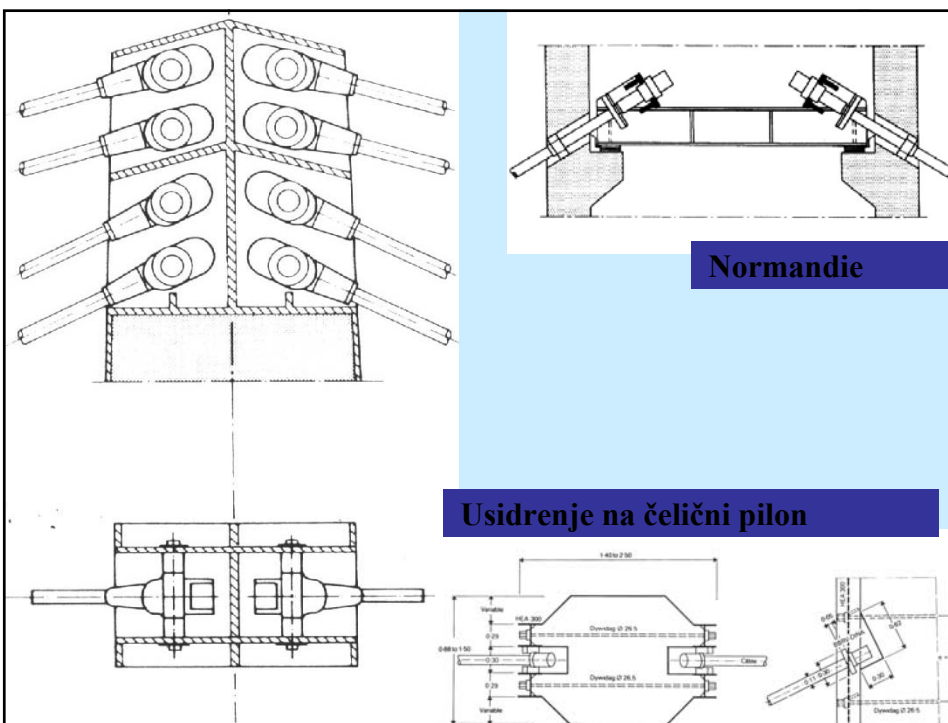
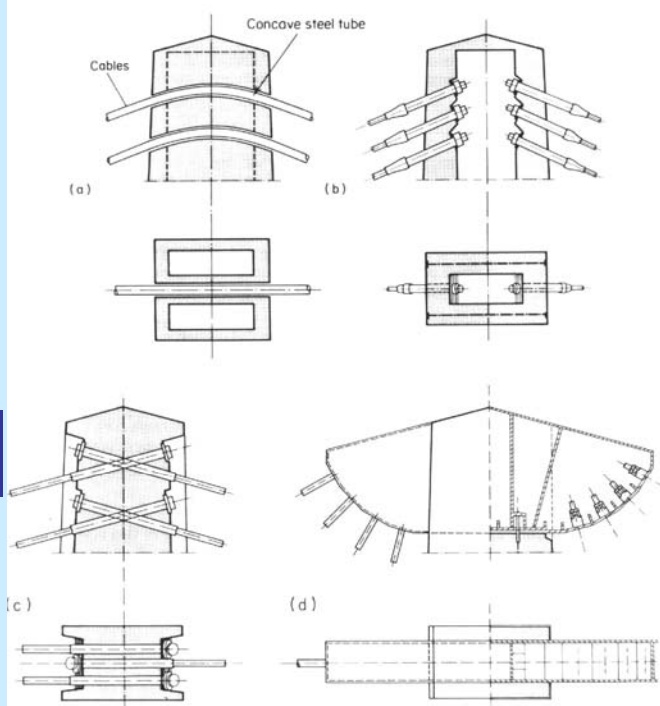


d) Usidrenje u betonsku gredu

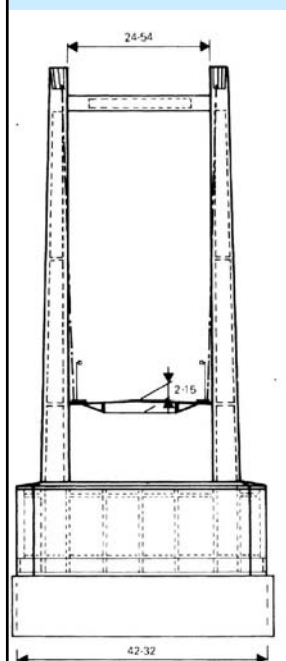


•Usidrenja zatega na pilon ovise o poprečnom presjeku i materijalu pilona, te o uzdužnoj i poprečnoj dispoziciji zatega.

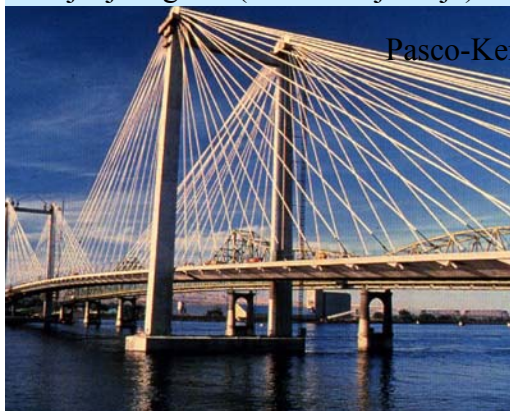
Usidrenje zatega na pilon



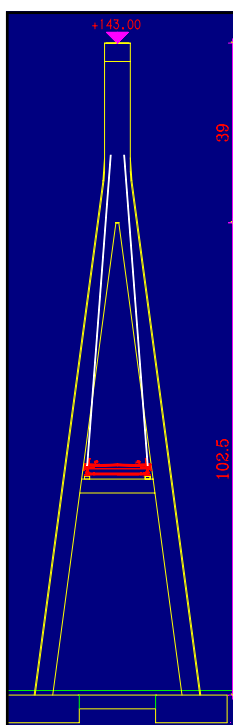
4.4. LEŽAJEVI I DILATACIJE



Vertikalni ležajevi su kod lateralnog ovješnja u principu neophodni samo na krajnjim osloncima. Kod pilona se ne moraju predvidjeti pri čemu se greda i tamo vješa na zatege, čime se izbjegavaju veliki negativni momenti savijanja u gredi (totalno ovješnje).



Pasco-Kennewick



- Uobičajena izvedba s tzv. parcijalnim ovješnjem, vertikalni ležajevi postavljaju se i na poprečnom nosaču pilona, ovješnje u okolini pilona se prekida.

- momenti savijanja grede u bočnim otvorima i kod pilona u velikoj mjeri ovise o načinu oslanjanja grede na pilon.

- greda upete u pilon momenti se smanjuju u bočnim poljima a jako rastu nad pilonom.

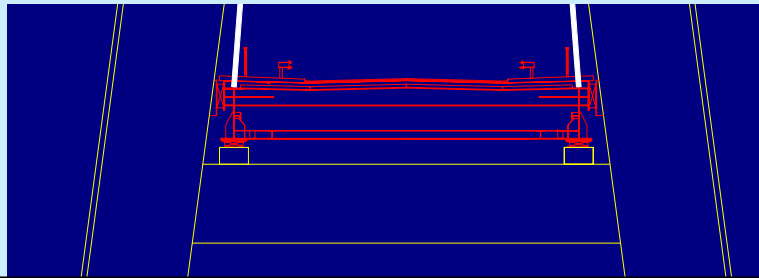
- slobodno oslanjanja momenti savijanje grede kod pilona su mali, ali zato jako rastu u bočnim otvorima.



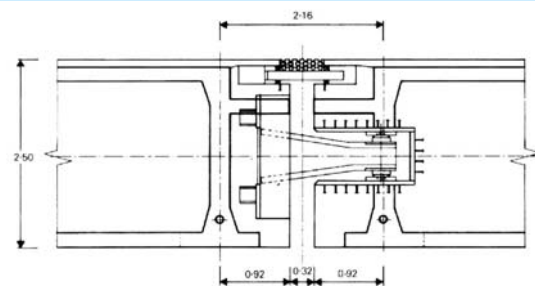
- Stabilnost pilona na izvijanje se bitno poboljšava ako se predvidi nepokretni ležaj za preuzimanje horizontalnih sila u uzdužnom smjeru. Kako je konstruktivni sustav (lepeza i pseudo-lepeza) u uzdužnom smjeru vrlo mekan taj ležaj se može postaviti i na jedan kraj mosta, tako da je potrebna samo jedna velika dilatacijska naprava.

- Uzdužno nepokretni ležaj se može locirati i na pilonu pa se onda kočne sile predaju temelju pilona savijanjem, što je lako izvedivo jer su u pilonu velike uzdužne sile te dolazi do malog dodatnog ekscentriciteta.

- Ležajevi za horizontalna poprečna opterećenja (vjetar) se stavljaju na svim krutim osloncima



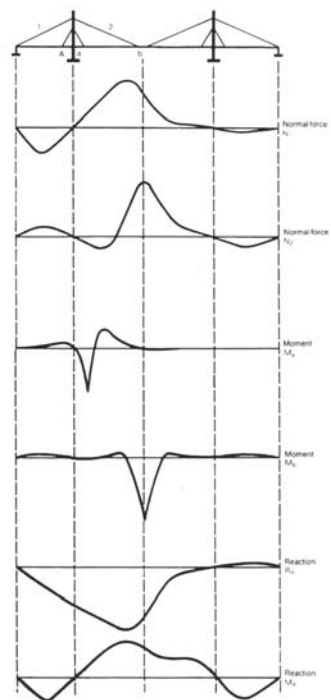
- Kod simetričnih mostova sa kosim zategama preko tri raspona uzdužno nepomični ležajevi se mogu postaviti i na oba kraja mosta ako se u sredini centralnog otvora predvidi zglob sa dilatacijskom napravom, čime se kod simetrične slobodne montaže izbjegava potreba za uspostavljanjem fleksijskog kontinuiteta na tom mjestu. Neki autori ipak smatraju da takvo rješenje nije najbolje zbog kompliciranosti zgloba (horizontalno pomičan, vertikalno nepomičan) i zbog neizbježnog loma nivelete, uslijed djelovanja pokretnog opterećenja a kod betonskih greda i puzanja i skupljanja.



5. PRORAČUNI

• Most sa kosim zategama je višestruko statički neodređeni sustav. Područje (veličina) sile najvećim dijelom je određena odnosom krutosti zatega, pilona i grede

• Momenti savijanja na gredi približavaju se onima na kontinuiranom nosaču na čvrstim osloncima, ti momenti se smanjuju što se smanjuje razmak između zatega. Vertikalne komponente sila u zategama su približno jednake ležajnim reakcijama izračunatim na taj način.

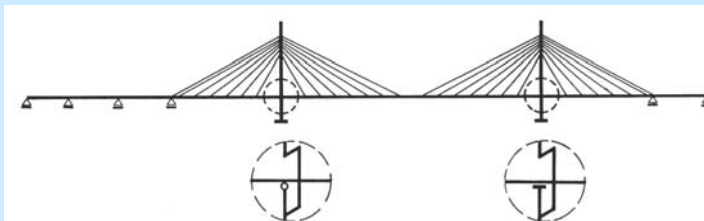


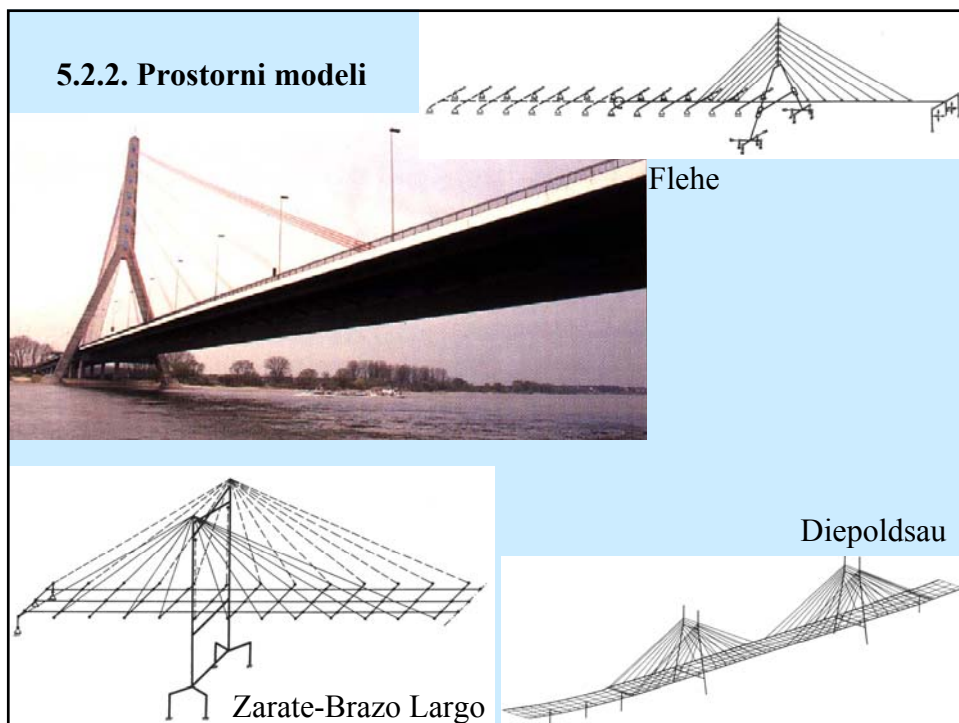
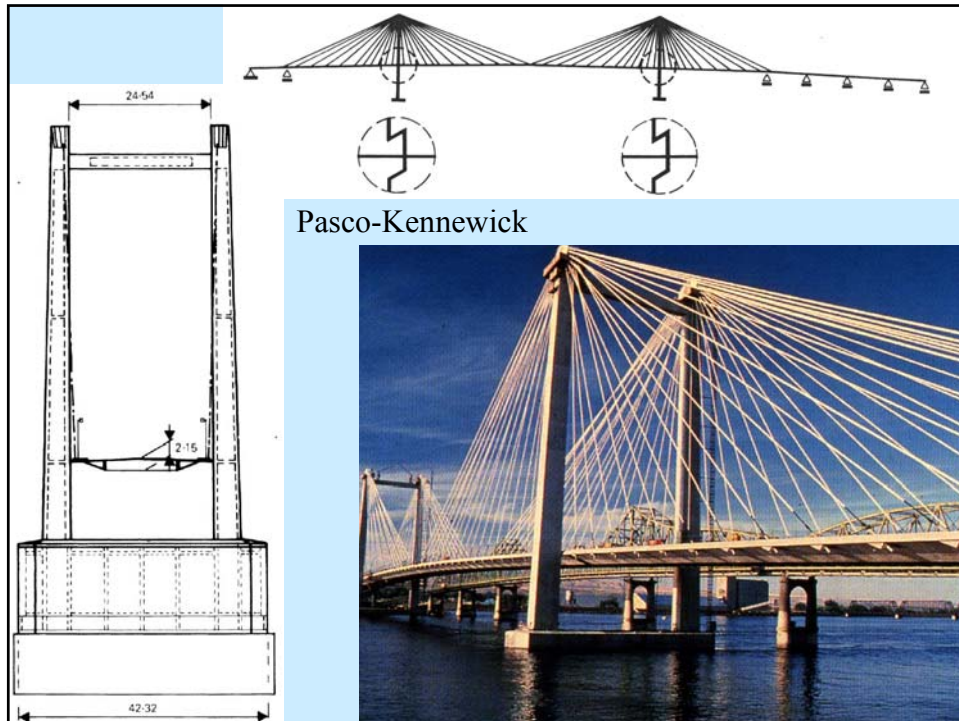
5.2. MODELIRANJE SUSTAVA

• Pojednostavljenje – dovoljna točnost

5.2.1. Ravninski modeli

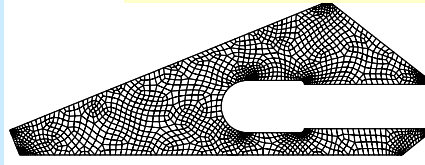
Diepoldsau



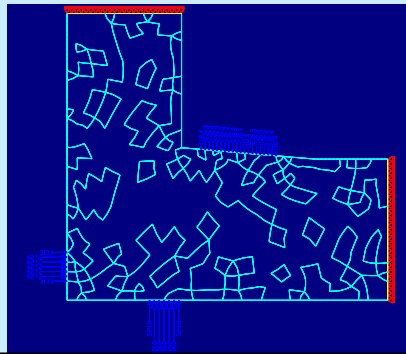
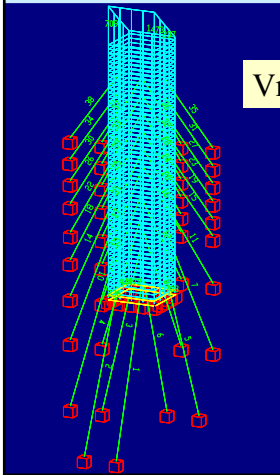


5.2.3. Parcijalni modeli

Sidrenje zatege na gredu



Vrh pilona



5.3. ZATEGE

• Zbog male krutosti na savijanje zatege se deformiranjem uravnotežuju pod utjecajem vlastite težine zauzimajući oblik lančanice.

Da bi se u proračun mogla uvesti idealizirana ravna zatega potrebno je pronaći idealizirani sekantni modul elastičnosti E_i .

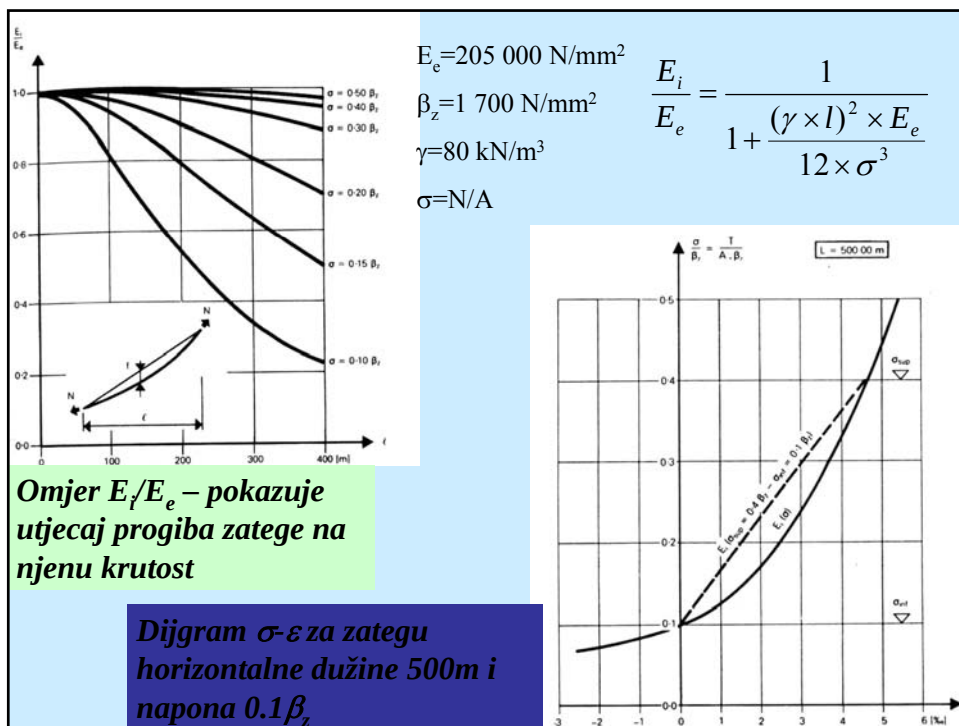
$$E_i = E_e / \left(1 + \frac{(\gamma)^2}{12\sigma_m^3} \frac{(1+\mu)^4}{16\mu^2} E_e \right)$$

γ - jedinična težina

l - horizontalni raspon zatege

$$\mu = \frac{\sigma_{low}}{\sigma_{up}}$$

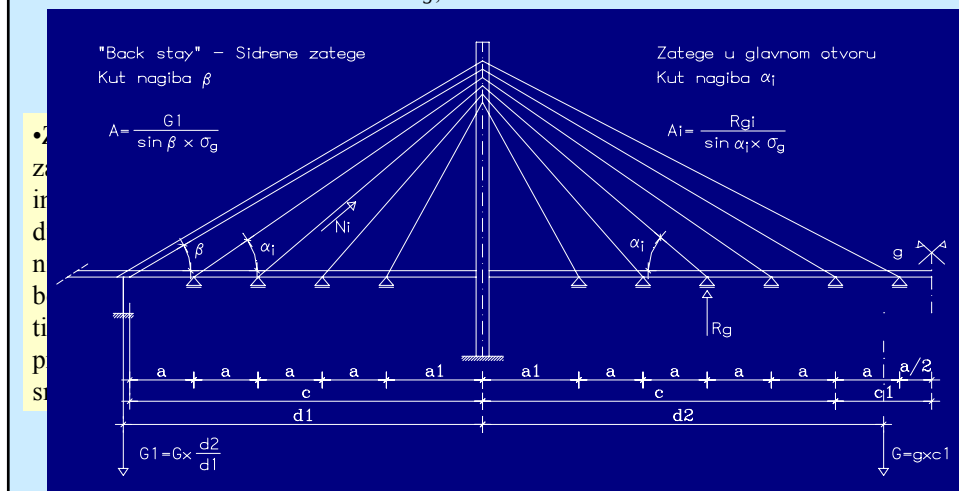
$$\sigma_m = (\sigma_{low} + \sigma_{up}) / 2$$

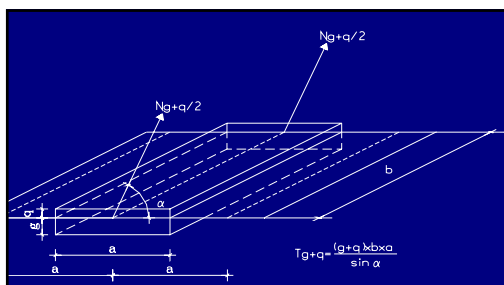


5.4. PRELIMINARNI PRORAČUN

- pojednostavljeni proračun daje nam vrijednosti za prvu aproksimaciju preliminarnog proračuna sila u zategama.
- gredu promatramo kao kontinuirani nosač na čvrstim osloncima koji se nalaze na mjestima usidrenja zatege u gredu.

$$N_i = R_{g,i} / \sin \alpha_i$$





• znamo sile u zategama od stalnog opterećenja - potrebno je definirati granični napon σ_g za djelovanje vlastite težine i dodatnog stalnog opterećenja tako da na osnovu toga možemo dimenzionirati tj. usvojiti poprečni presjek zatege.

• Pretpostavimo da zatega od pokretnog opterećenja preuzima silu N_q koja je proporcionalna sa silom N_g

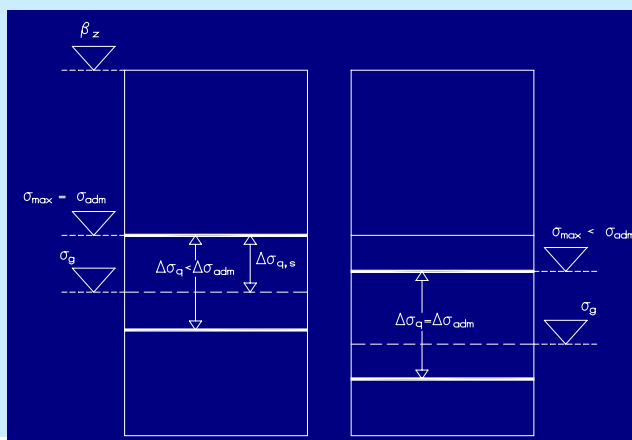
Definiramo parametar $\eta = q/g$;

-g – stalno opterećenje

-q – prometno opterećenje.

Poprečni smjer

• Prometna opterećenja od željezničkog prometa su u pravilu veća od cestovnog, a čelična greda je lakša od betonske, pa parametar η može dosta varirati. Taj je parametar relativno nizak za betonske cestovne mostove : 0.2-0.3, a visok za čelične željezničke mostove 1.0-2.0.



Omjer $\eta = q/g$

niski

visoki

Uvjeti

$$\sigma_g + \Delta\sigma_{q,s} \leq \sigma_{adm}$$

$$\Delta\sigma_g \leq \Delta\sigma_{adm}$$

• iskoristivost čelika u zategama za dvije vrijednosti η .

• ako je vrijednost η mala razlika naprezanja $\Delta\sigma_q$ manja je od graničnog $\Delta\sigma_{per}$ - kriterij čvrstoće:

$$\sigma_g + \sigma_{qup} < \sigma_{per}$$

• η veliki, razlika napona postaje velika - kriterij umornosti:

$$\Delta\sigma_q < \Delta\sigma_{per}$$

Za oba ova kriterija može se uspostaviti odnos σ_g i η .

-kriterij čvrstoće
$$\sigma = \frac{g}{g+q} \sigma_{per} = \left(1 + \frac{q}{g}\right)^{-1} \sigma_{per}$$

-kriterij umornosti
$$\Delta\sigma_{per} = \frac{N_q}{A} = \frac{N_q}{A} \frac{N_g}{N_g} = \frac{N_q}{N_g} \Delta\sigma_{per}$$

iz čega slijedi
$$\sigma_g = \left(\frac{q}{g}\right)^{-1} \Delta\sigma_{per}$$

•Maksimalni dozvoljeni napon u zategama je općenito definiran

kao :

$$\sigma_{per} = 0.45\beta_z$$

$$\sigma_{per} = 0.50\beta_z \text{ u posebnim slučajevima,}$$

gdje je β_z vlačna čvrstoća čelika pri slomu.

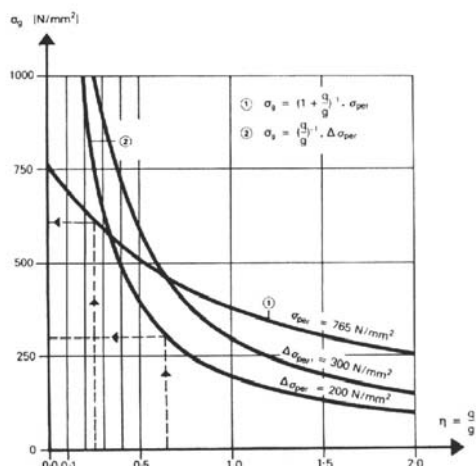
•Napona $\Delta\sigma$ je garantiran od proizvođača i obično je baziran na eksperimentima od preko dva milijuna ciklusa opterećenja.

• σ_g kao funkcija η za kriterij čvrstoće i kriterij umornosti.

Dozvoljeni naponi su :

$$\sigma_{per} = 0.45 \times 1700 = 765 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{per} = 200 \text{ N/mm}^2 \text{ ili } 300 \text{ N/mm}^2.$$

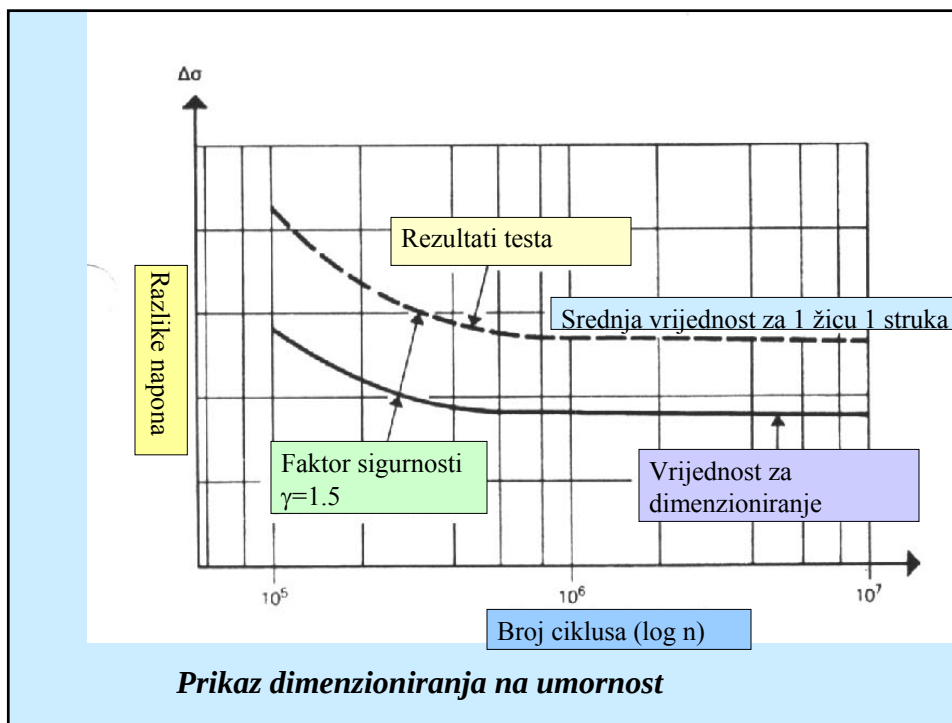


$$A_i = N_{g,i} / \sigma_g.$$

5.5 DIMENZIONIRANJE NA UMORNOST

$$\Delta\sigma_{per} = \frac{\Delta\sigma_{test}}{\gamma_1\gamma_2\gamma_3} = \frac{\Delta\sigma_{test}}{1.5}$$

- $\gamma_1=1.15$ parcijalni koeficijent za čelik
- $\gamma_2=1.15$ parcijalni koeficijent koji uzima u obzir efekt grupiranja (ispitivanja se provode na pojedinačnim žicama ili strukovima)
- $\gamma_3=1.15$ parcijalni koeficijent koji uzima u obzir prenošenje rezultata ispitivanja u karakteristične vrijednosti



5.6 DINAMICKA ANALIZA

- Utjecaj dinamičkih sila na ovještene i viseće mostove je veći nego na bilo koje druge mostove i vrlo je važan za proračun.

- aerodinamički efekt
- psihološki efekt
- seizmičko djelovanje.

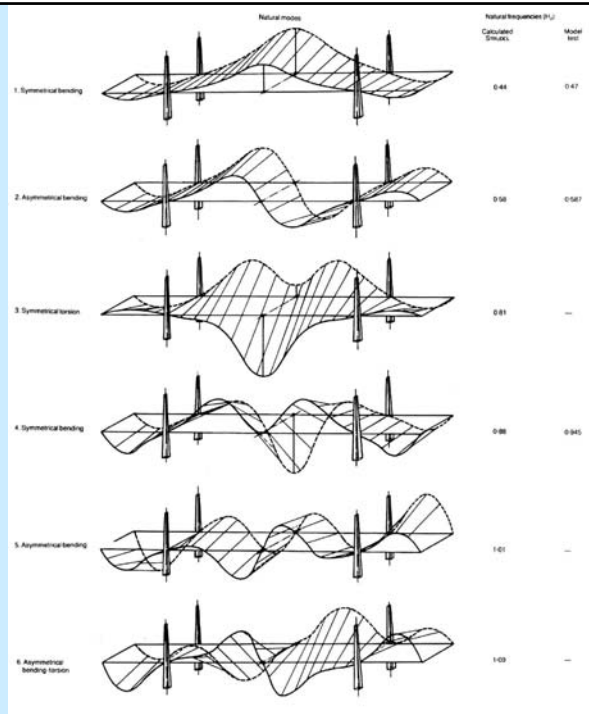
- aerodinamička stabilnost točnije nestabilnost bila je uzrok rušenja visećih mostova ranijeg razdoblja, a to je pak uvjetovalo poboljšanje i napredak na tom području.
- Oscilacije uzrokovane vjetrom i prometom koje ne uzrokuju oštećenje mosta mogu vrlo neugodno djelovati na njegove korisnike.

- vlastite frekvencije i tonovi promatrane konstrukcije
- savijajuća (fleksijska) i torzijska vlastita frekvencija
- obično je odgovor konstrukcije na dinamičko djelovanje sadržan u prvim nekoliko tonova konstrukcije, međutim kod fleksibilnih konstrukcija potrebno je razmatrati veći broj tonova
- za dubrovački most uzeto je 50 tonova

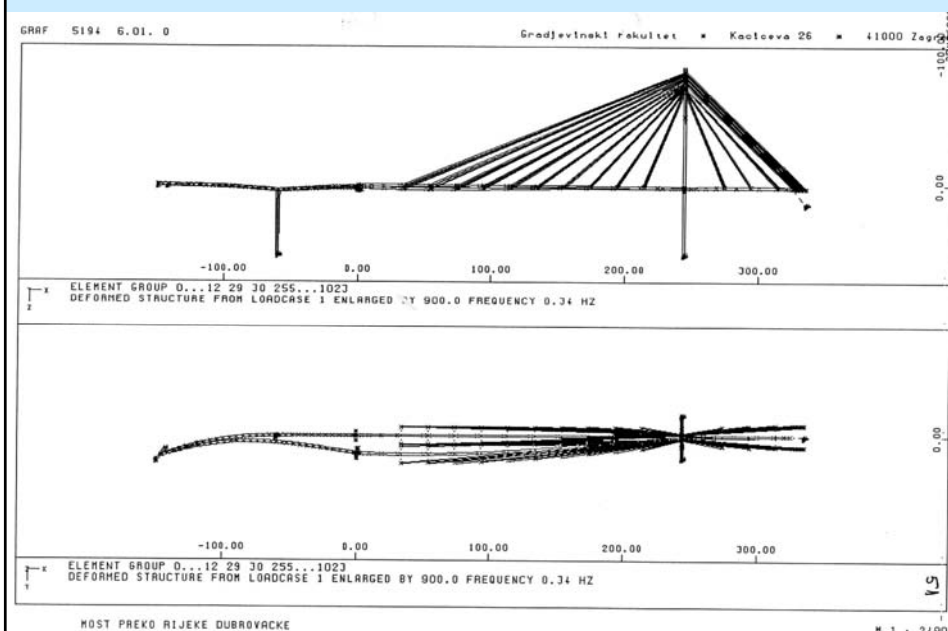
Most

Zarate - Brazo Largo

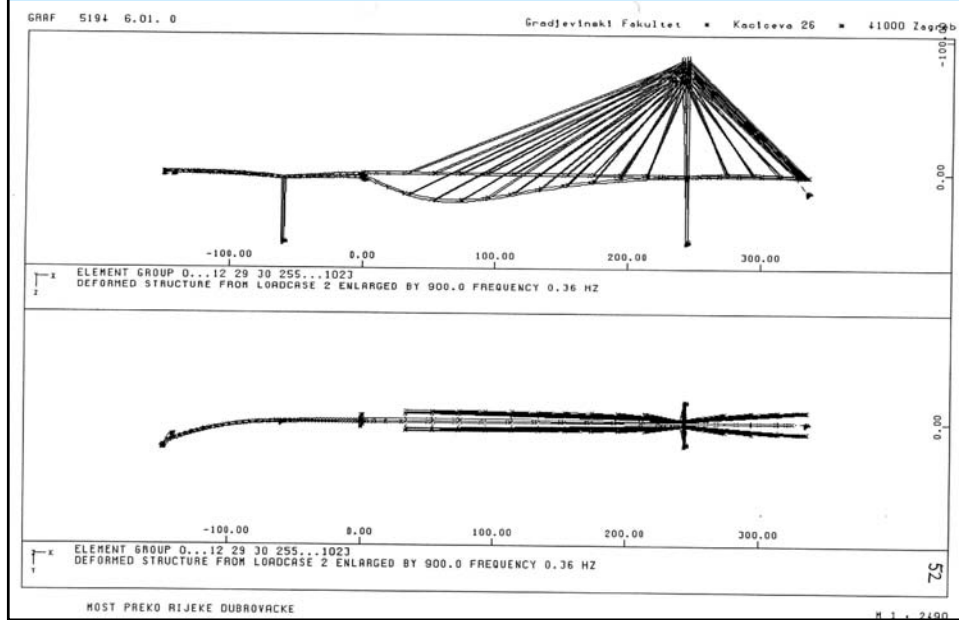
- prvih 6 tonova



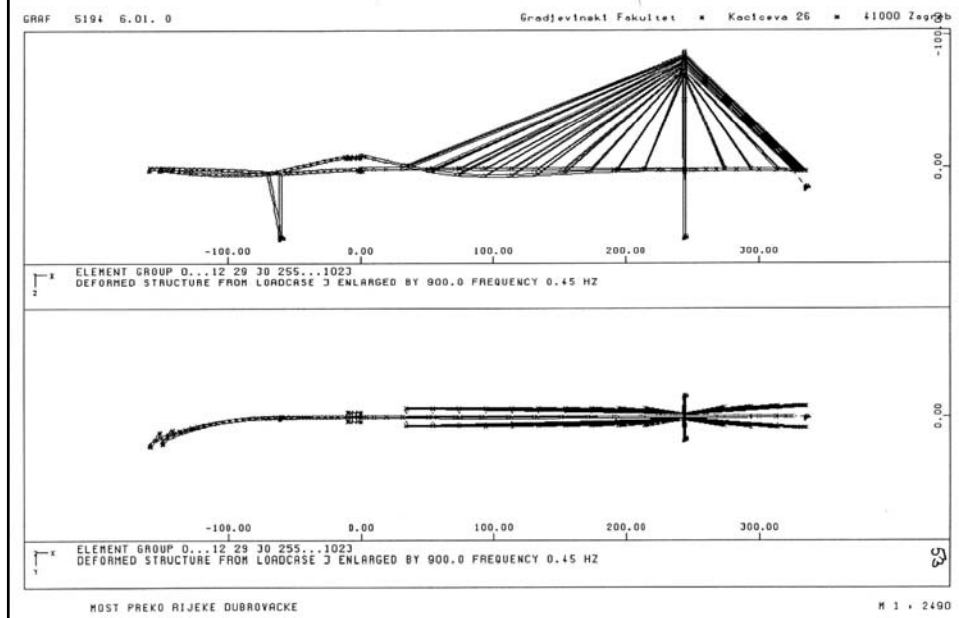
Most prek Rijeke dubrovačke - prvi ton



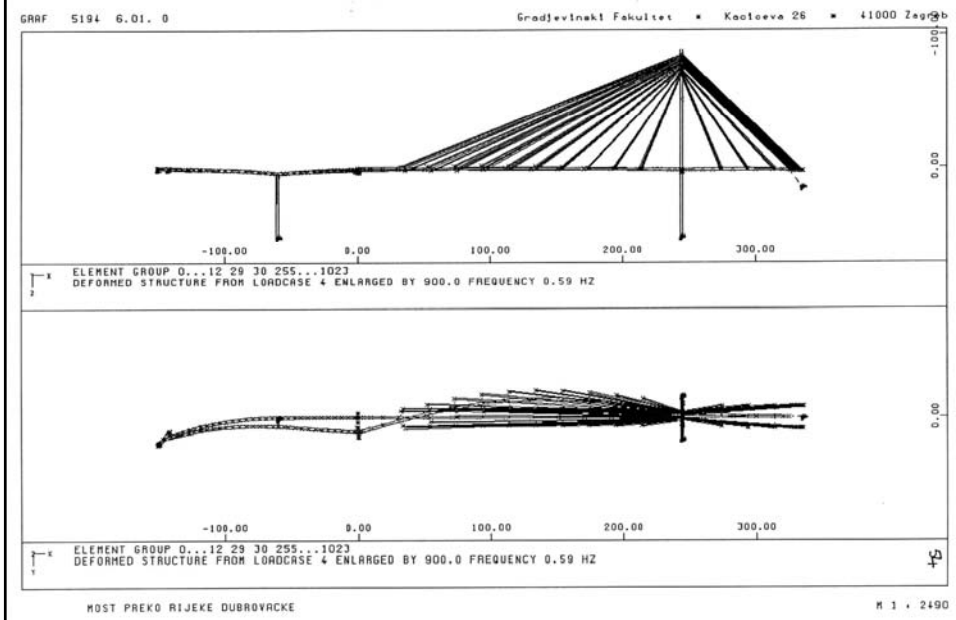
Most prek Rijeke dubrovačke - drugi ton



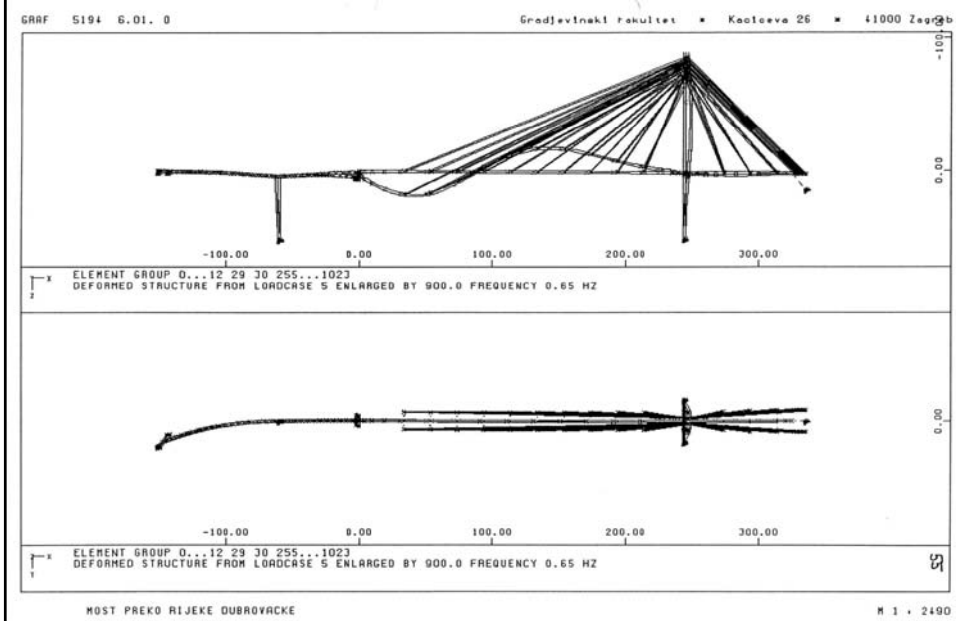
Most prek Rijeke dubrovačke - treći ton



Most prek Rijeke dubrovačke - četvrti ton

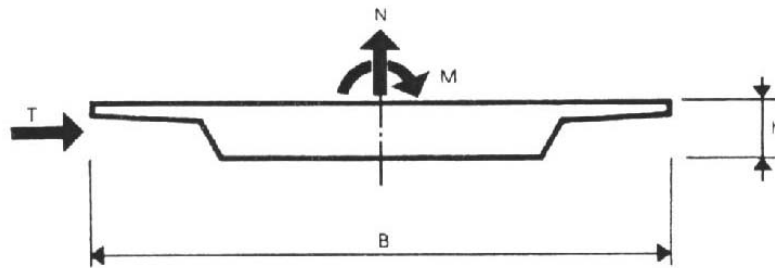


Most prek Rijeke dubrovačke - peti ton

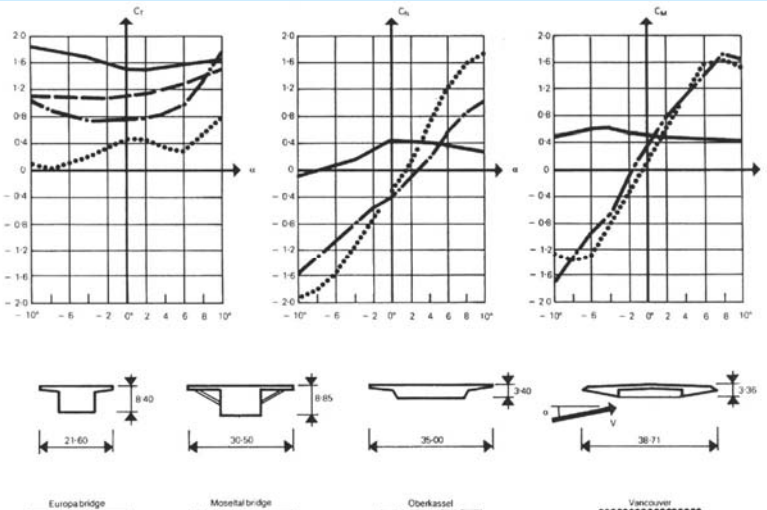


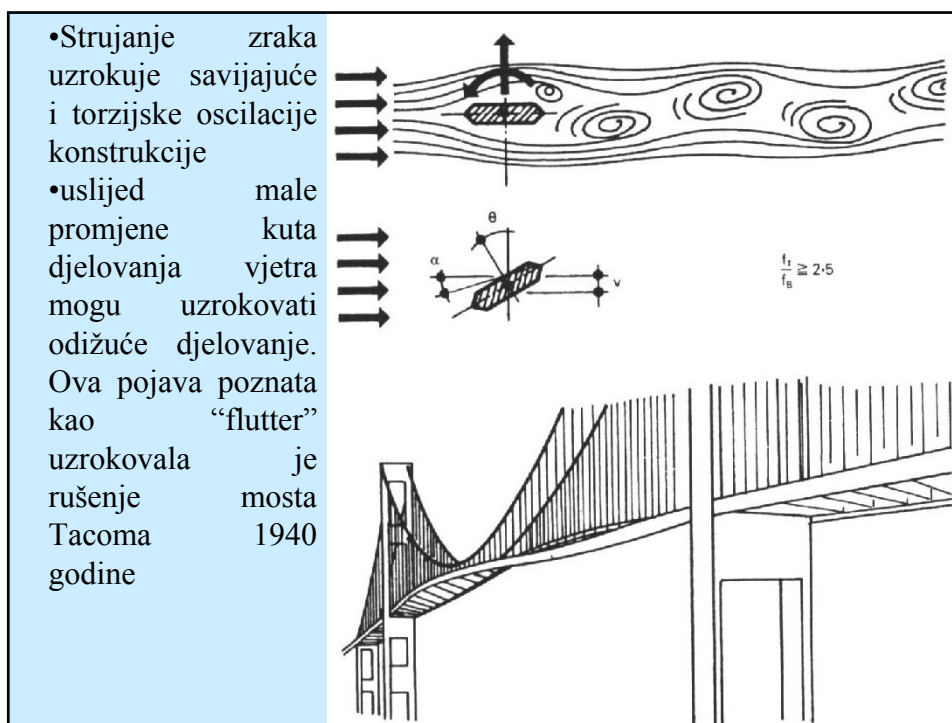
•Kod ovješnih mostova glavni raspon je obično vrlo velik, ovisno o položaju mosta on može biti izložen većem ili manjem djelovanju vjetra poprečno na most.

- horizontalno opterećenje T
- vertikalno opterećenje N
- moment torzije M



- oblik poprečnog presjeka (koeficijenti oblika popr. presjeka C_T , C_N , C_M)
- obliku poprečnog presjeka (koeficijenti oblika popr. presjeka C_T , C_N , C_M)
- kutu napada vjetra na konstrukciju α

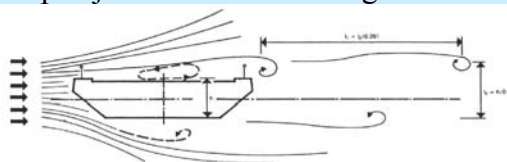




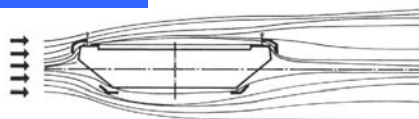
•Nakon ove katastrofe uslijedila su ispitivanja koja su pokazala da “flutter” nastaje kada su **savijajuća i torzijska vlastita frekvencija preniske, kada su preblizu jedna drugoj po vrijednosti ili kada se podudaraju oba ova slučaja.**

•Mathivat smatra da zadovoljavajući omjer te dvije frekvencije iznosi 2.5.

•“Flutter” može biti uzrokovan i odvajanjem vrtloga na rubovima poprečnog presjeka što je posljedica neadekvatnog oblikovanja poprečnog presjeka .



Djelovanje vjetra na gredu sa deflektorima



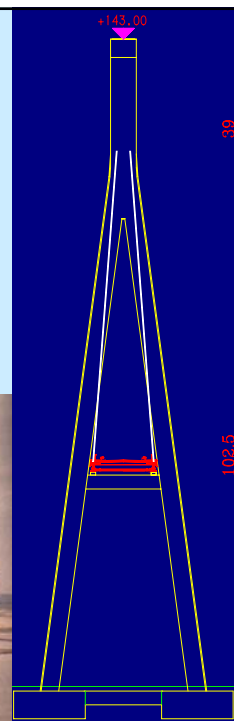
Djelovanje vjetra na gredu bez deflektora

- Iznad određene brzine vjetra – kritična brzina vjetra - greda počne primati veću energiju od one koju može disipirati prigušenjem. Rezultat je pojava savijajućih i torzijskih pomaka, uzrokovanih aerodinamičkim silama, sa rapidnim povećavanjem amplituda sve do kolapsa konstrukcije



Kritična brzina vjetra za određeni most mora stoga biti dovoljno veća od brzine vjetra koji se može očekivati na lokaciji mosta.

- Oblikovati aerodinamički i torzijski kruti poprečni presjek, pogotovo ako imamo jednu ravninu ovješnja ili dvije vertikalne paralelne ravnine ovješnja sa “H” pilonom,
- Ovješnje bi trebalo biti u dvije ravnine i to tako da su dvije ravnine zatega nagnute jedna prema drugoj sa “A” pilonom, time dobijemo prostorni sustav koji je torzijski krut pa krutost same grede ne mora biti velika.



• Također su bitni geometrijski odnosi Širine kolovoznog nosača (B), visine kolovoznog nosača (H) i dužine glavnog raspona (L).

Prema dosadašnjim iskustvima možemo tako zaključiti da će betonski mostovi sa dvije ravnine ovješnja biti sigurni od pojave “flutter”-a ako su zadovoljeni sljedeći odnosi:

$$B \geq 10H \quad \text{ili} \quad B \geq L/30.$$

• Čelični mostovi sa rasponom većim od 400m ponu su osjetljiviji na oscilacije, pa bi uz ovješnje na “A” pilon trebao biti zadovoljen odnos

$$B \geq L/25.$$

6. IZVEDBA

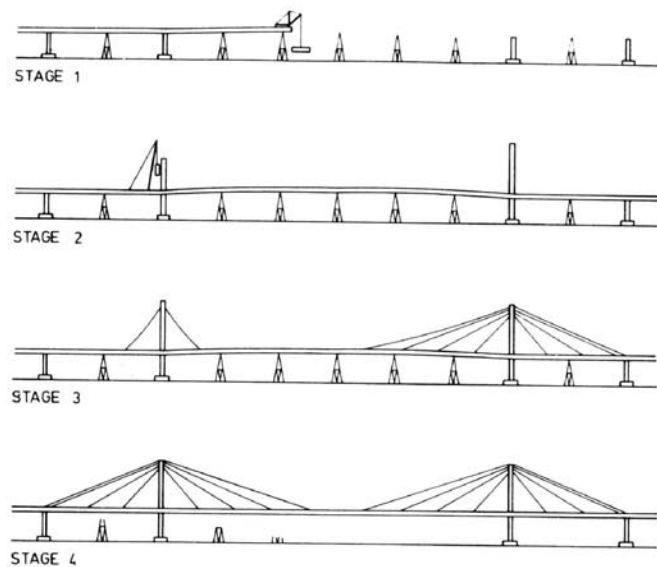


• Izvedba mosta s kosim zategama je čimbenik koji djeluje na zamisao i projektiranje objekta. Stoga će izbor konstruktivnog sustava i materijala, kao i izvedba detalja konstrukcije biti u uskoj vezi s načinom izvedbe.

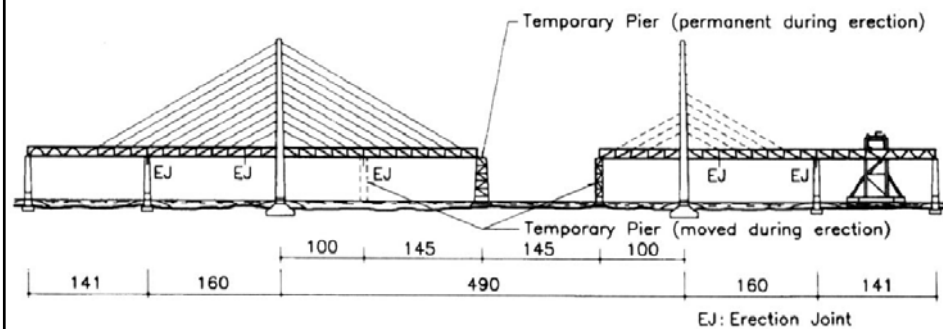
• U slučaju mosta s kosim zategama nosivost pojedinačne zatege ovisi o prijenosu horizontalne komponente sile iz zatege kroz kolovozni nosač, a ista se ne može aktivirati ako prethodno nije ugrađen dio nosača u koji se kosa zatega sidri.

6.2. GRADNJA NA PRIVREMENIM OSLONCIMA

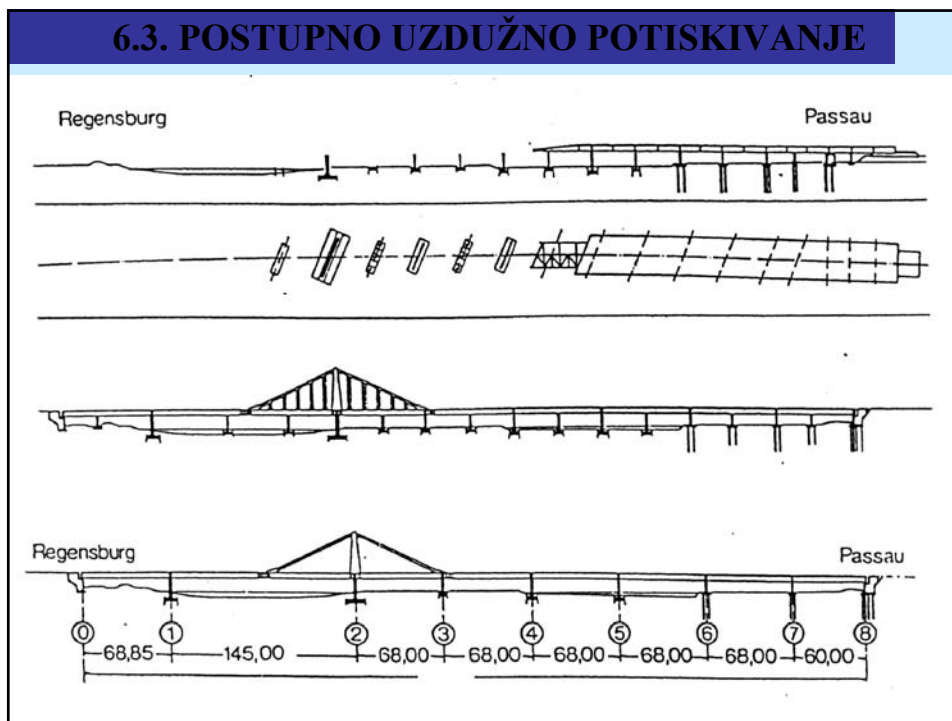
•Jedan od načina izvedbe mosta sa kosim zategama je izvedba kolovoznog nosača na skeli, na privremenim osloncima, a potom dodavanje i pritezanje zatega. Stupnjevi izvedbe slijede u četiri osnovne faze



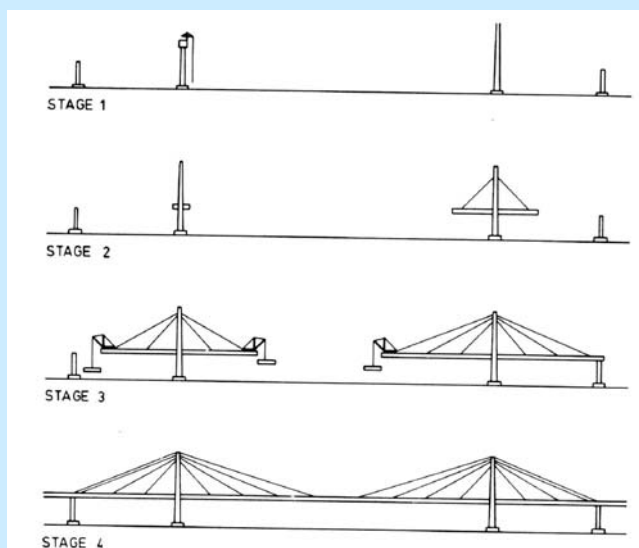
ÖRESUND

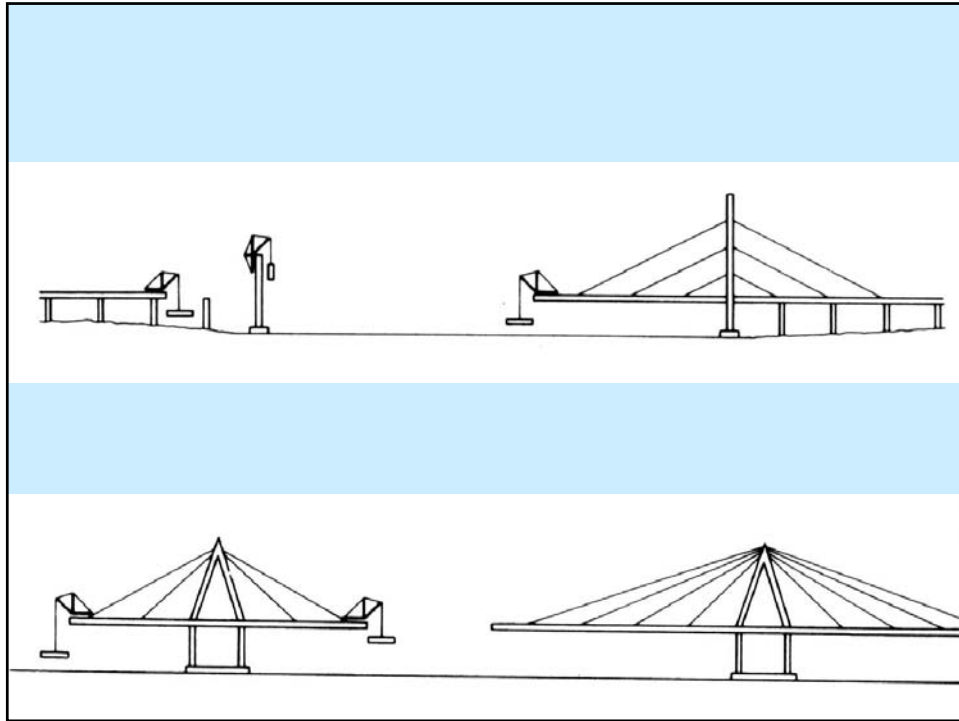


6.3. POSTUPNO UZDUŽNO POTISKIVANJE



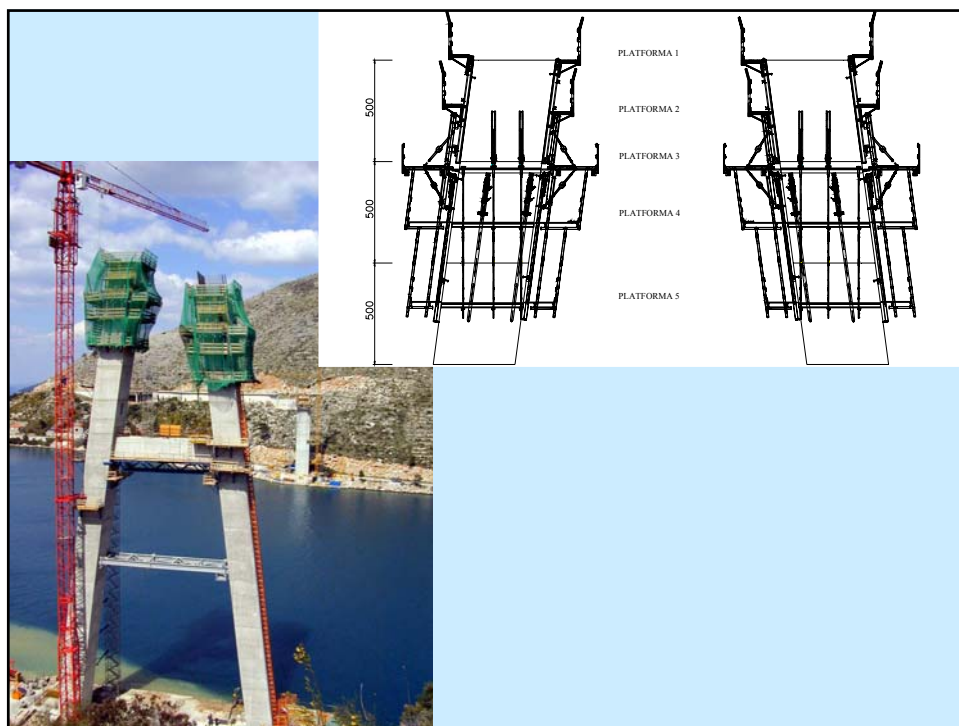
6.4. POSTUPNO PREPUŠTANJE (SLOBODNA KONZOLNA GRADNJA)



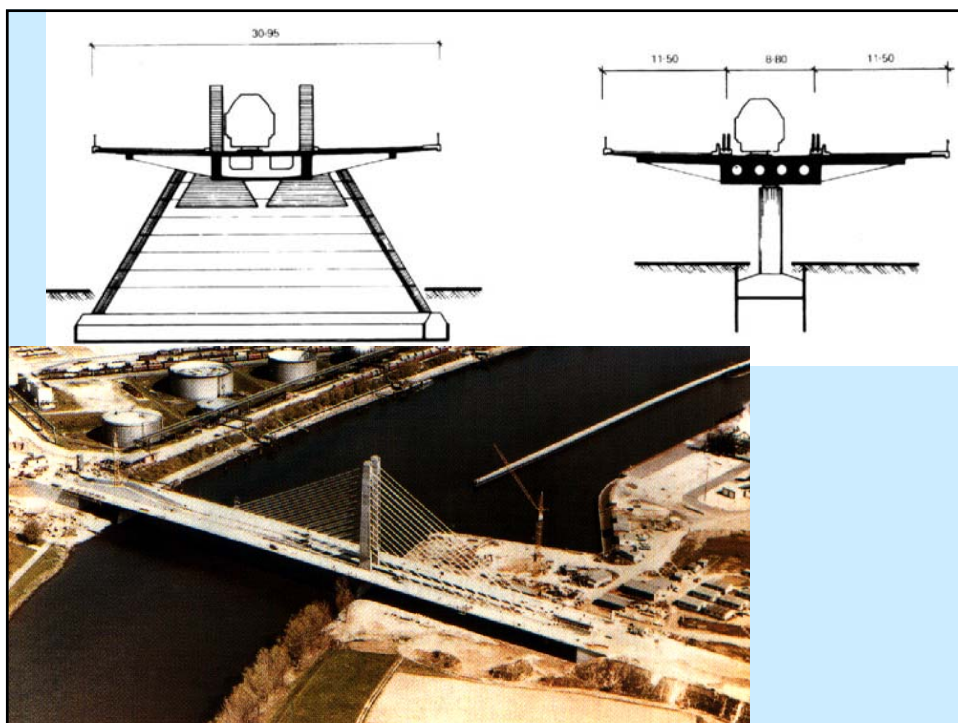
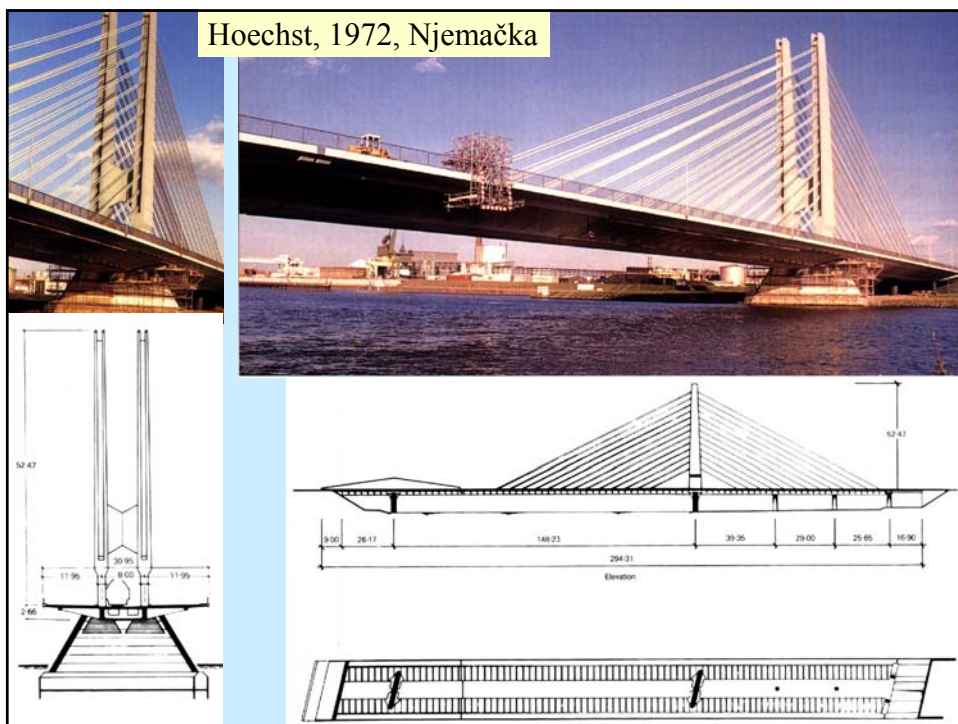




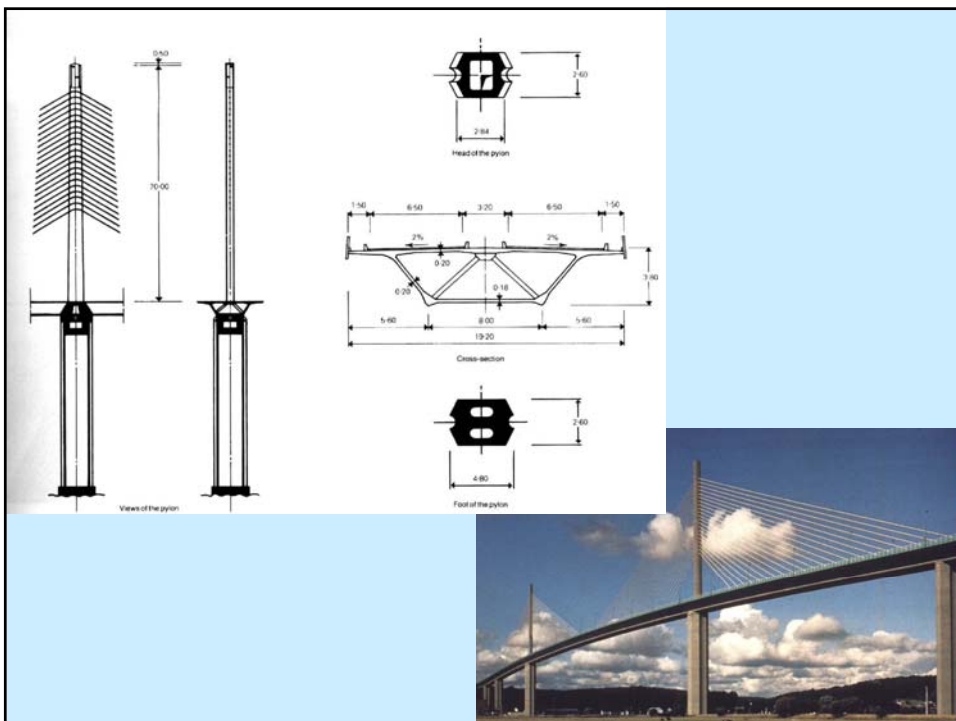
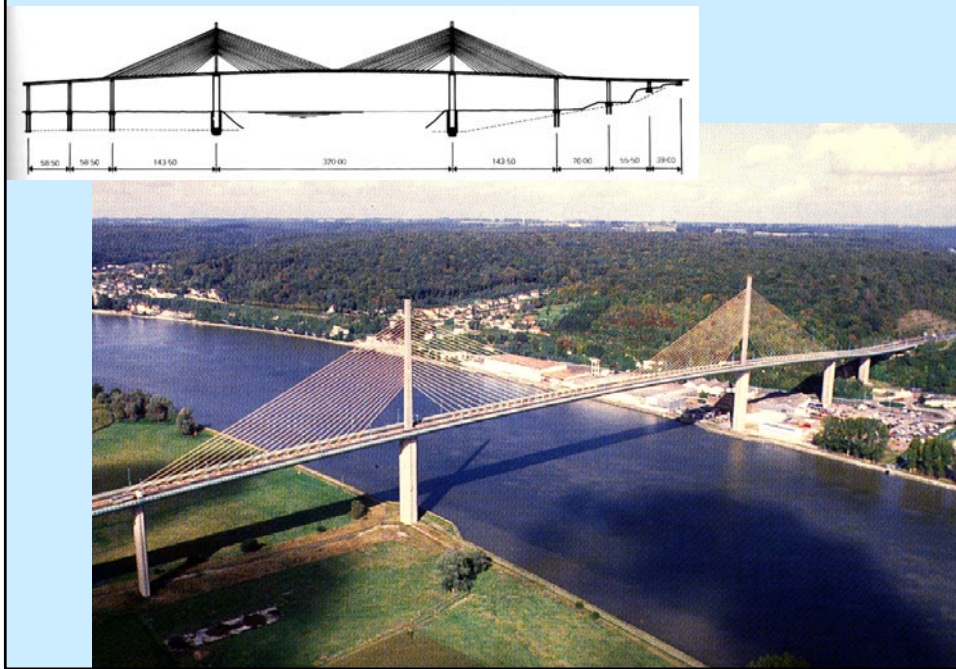




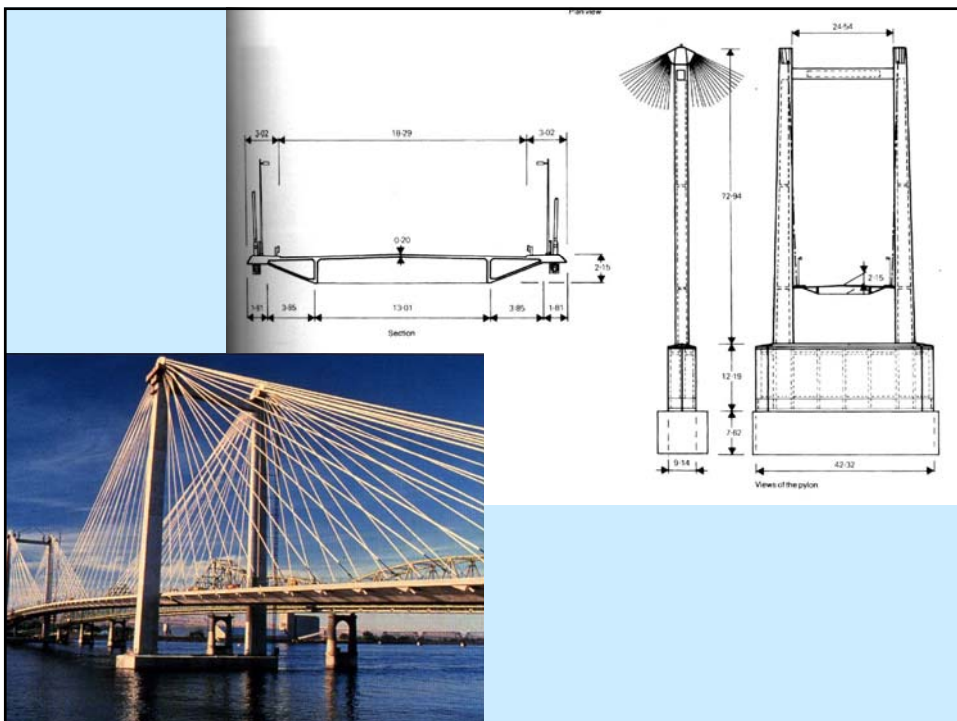
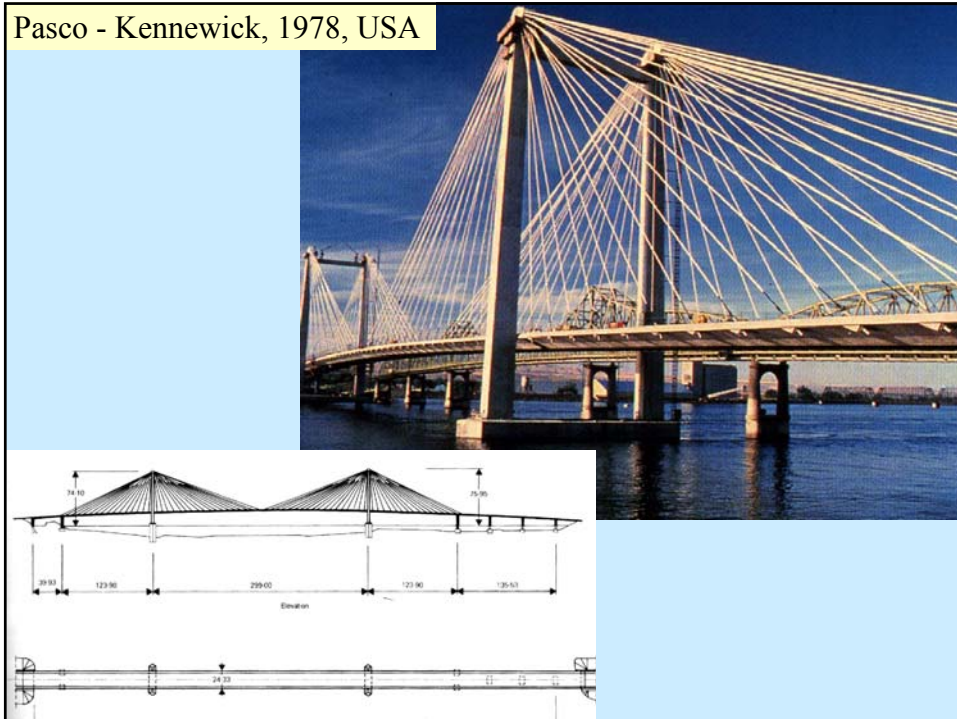
Hoechst, 1972, Njemačka



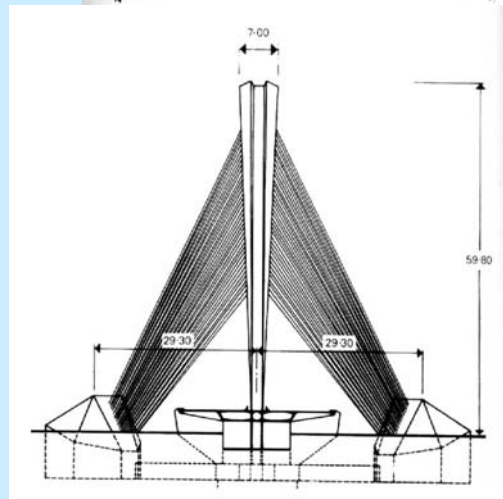
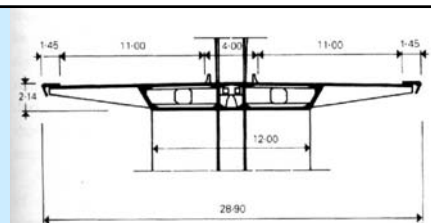
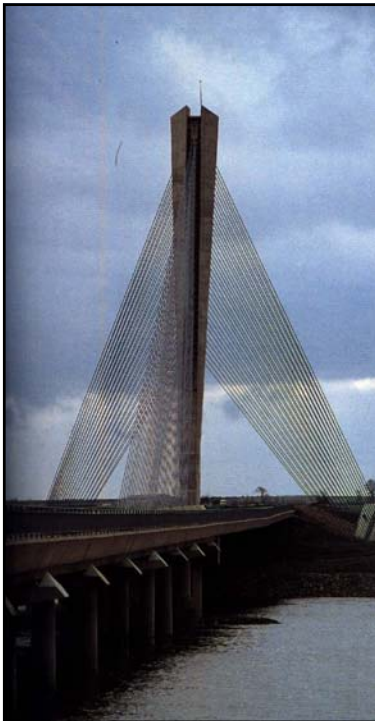
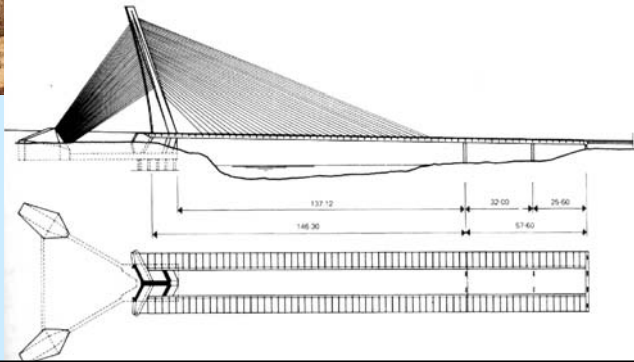
Brotonne, 1977, Francuska



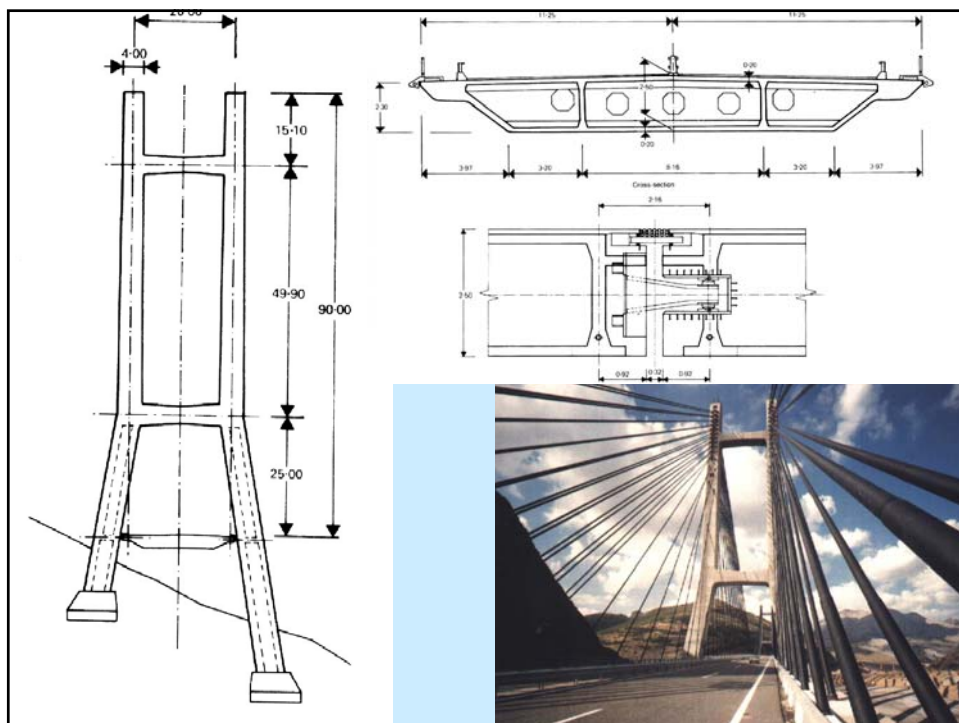
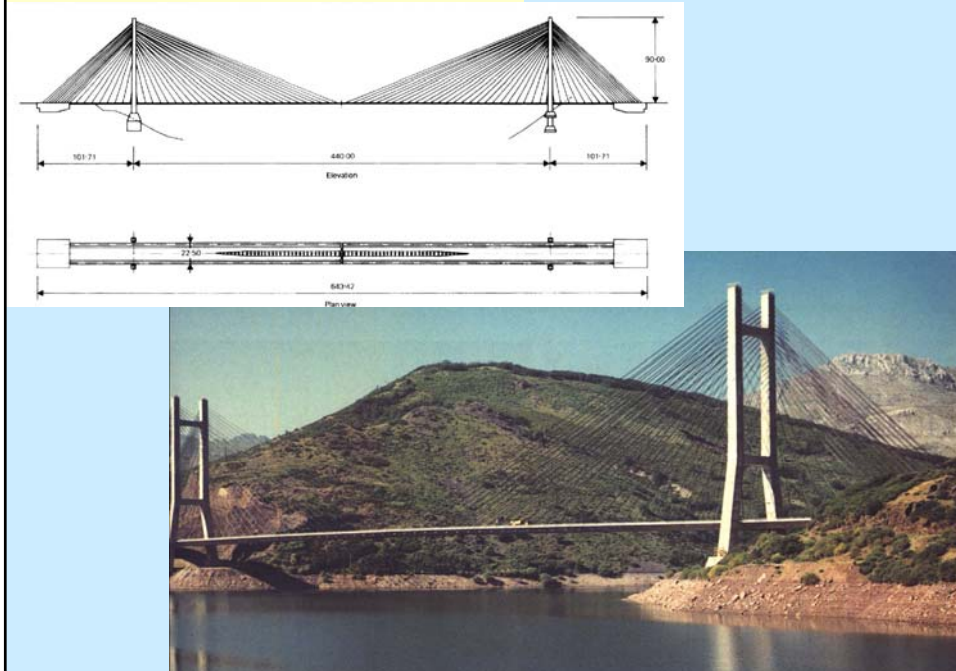
Pasco - Kennewick, 1978, USA



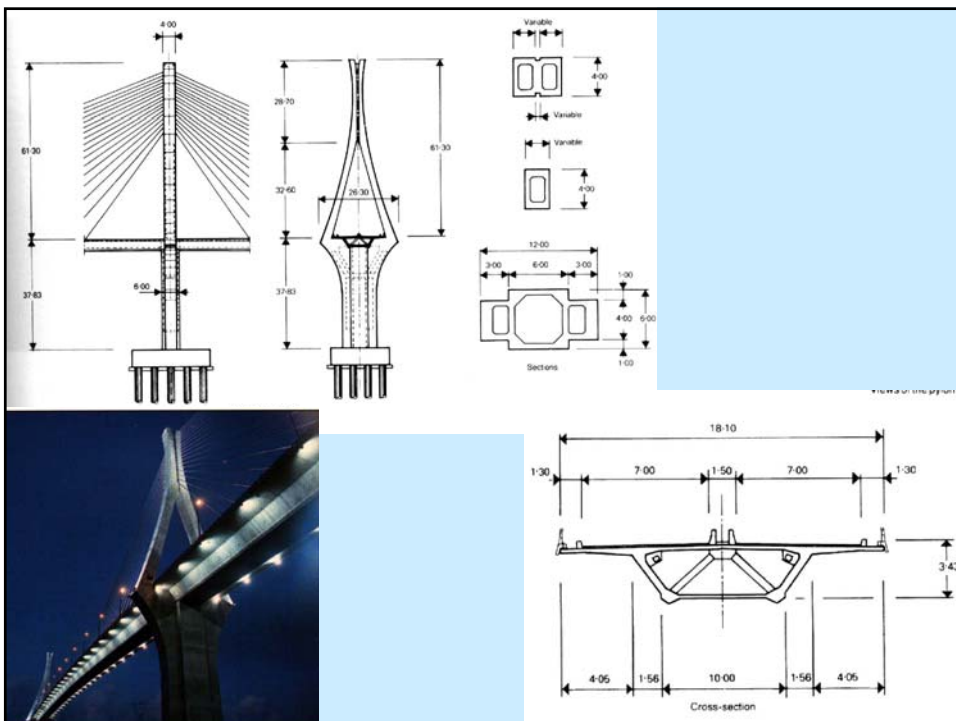
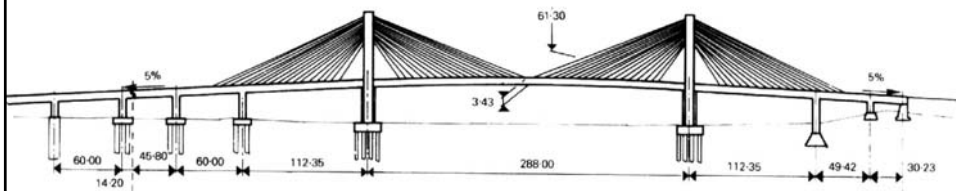
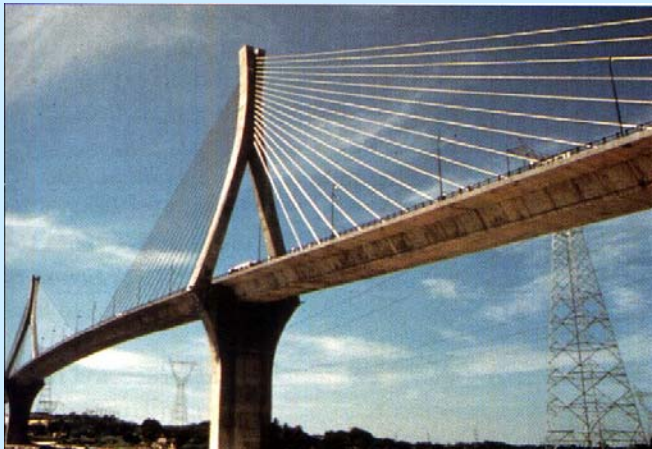
Sancho El Mayor, 1978, Španjolska



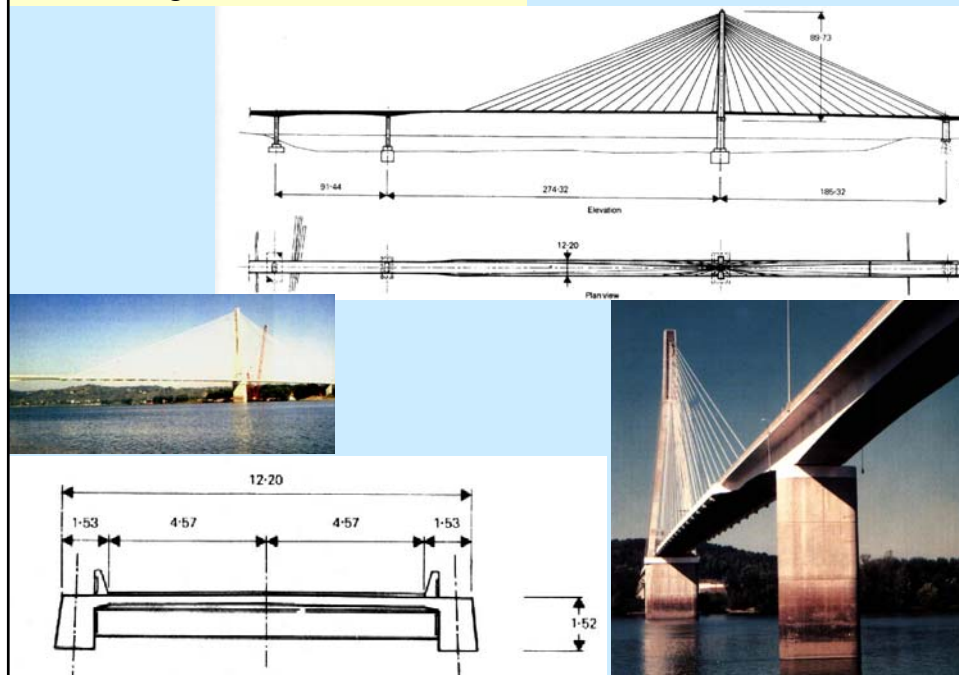
Barrios de Luna, 1984, Španjolska



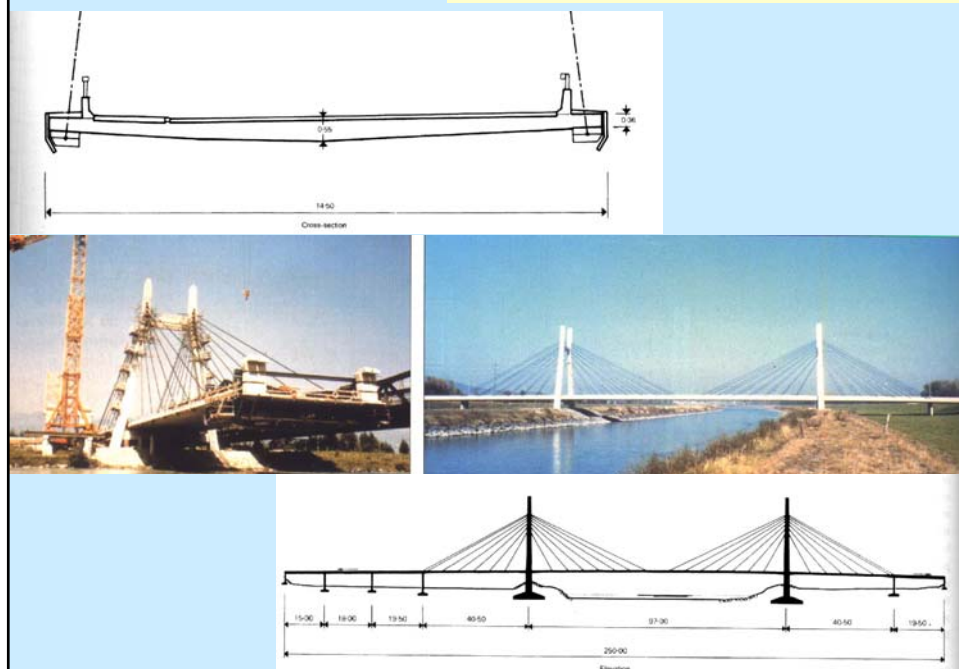
Coatzacoalcos, 1984, Mexico



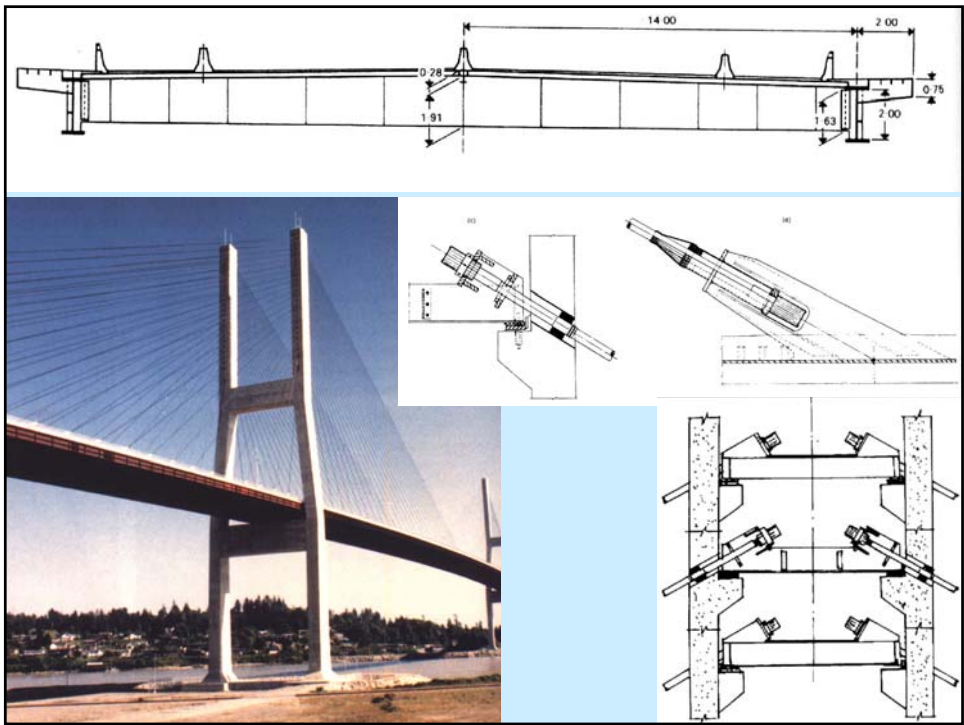
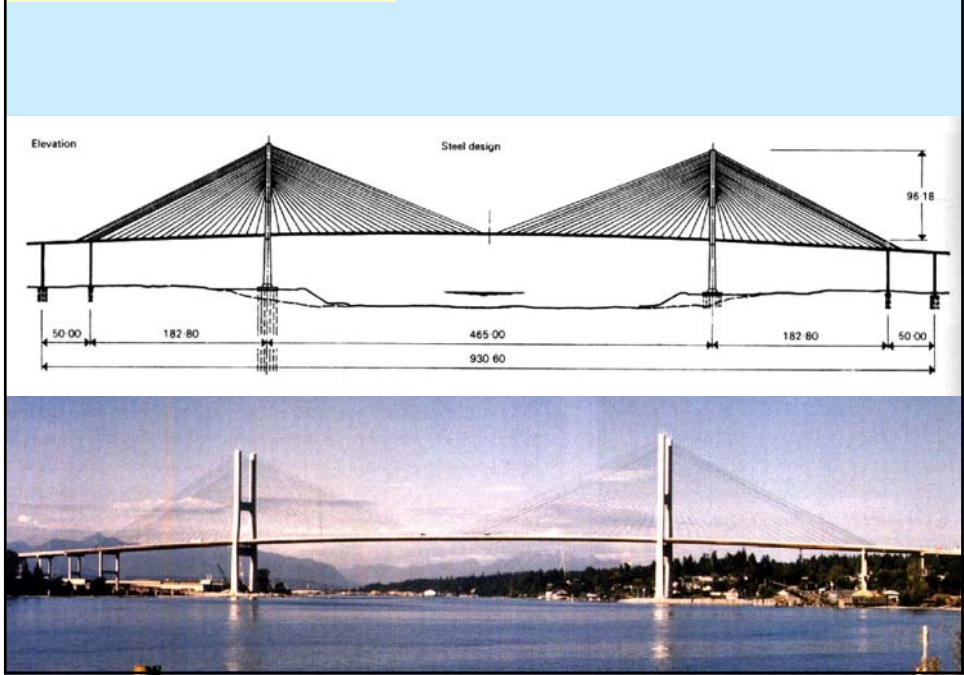
East Huntington, 1985, USA



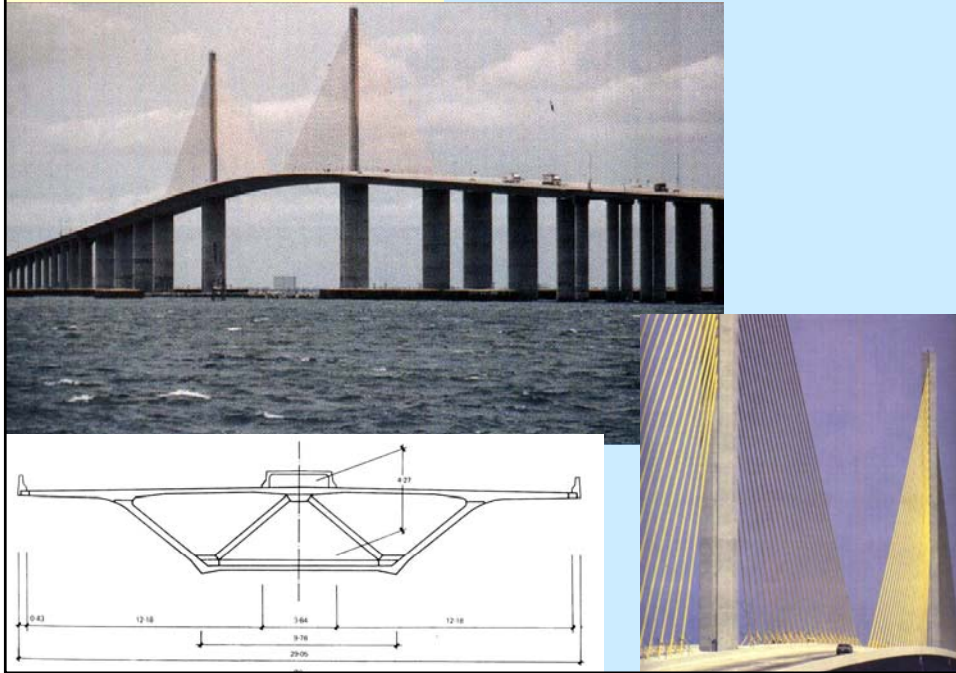
Diepoldsau, 1985, Španjolska



Annacis, 1986, Canada



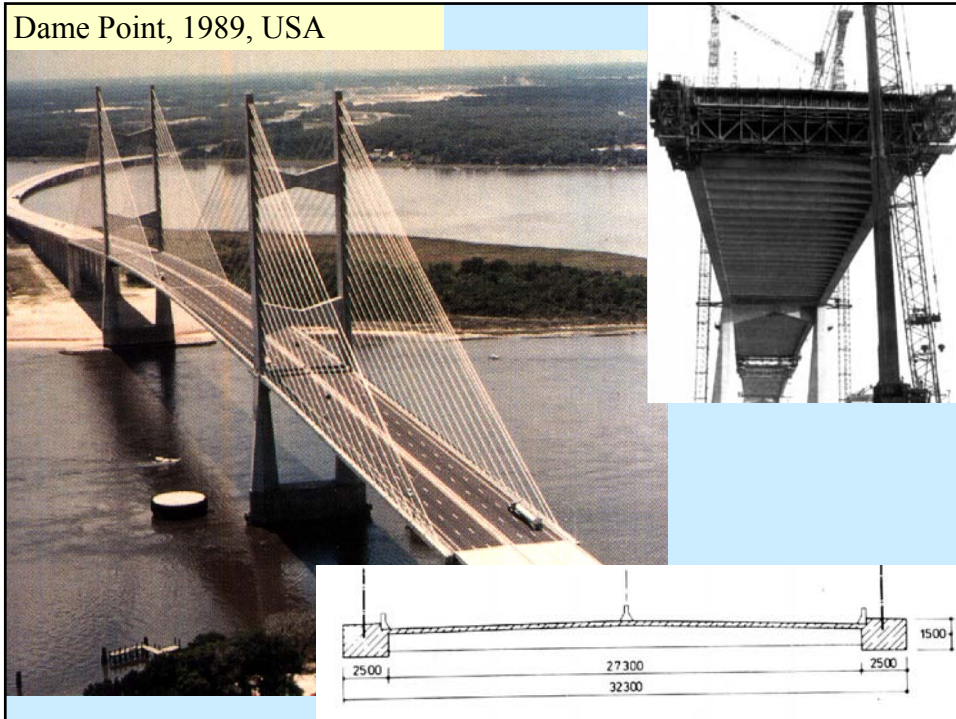
Sunshine Skayway, 1987, USA



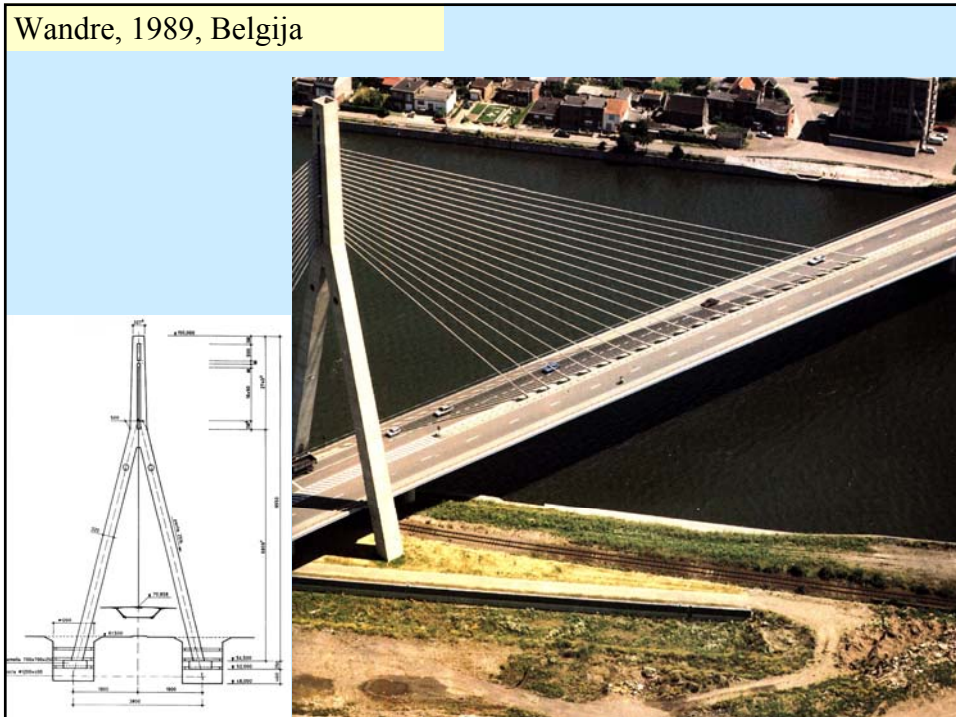
Tampico, 1988, Mexico

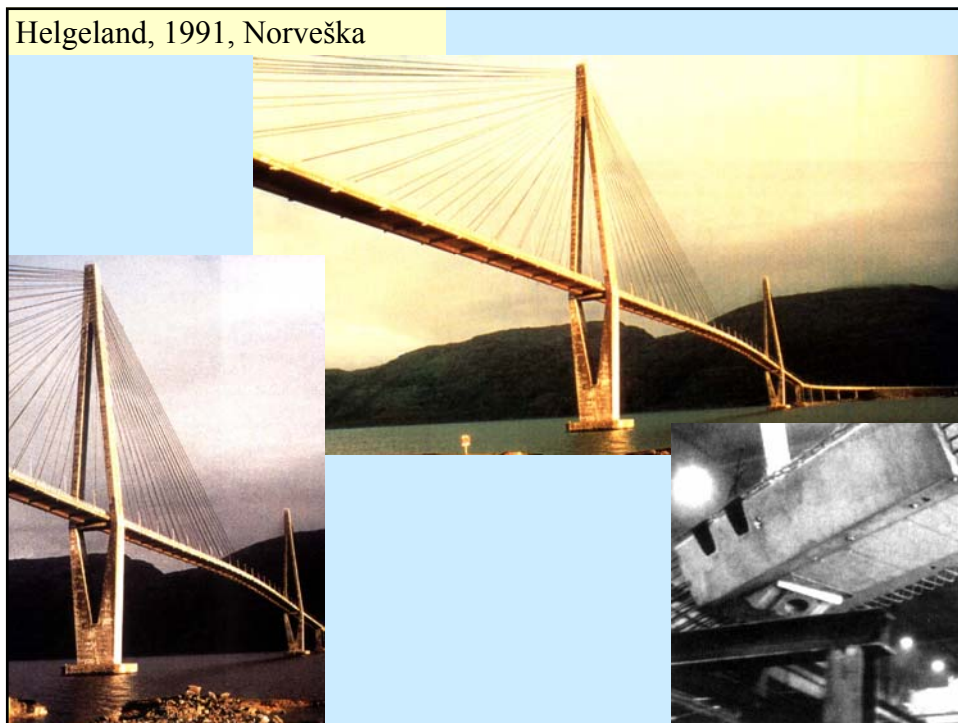
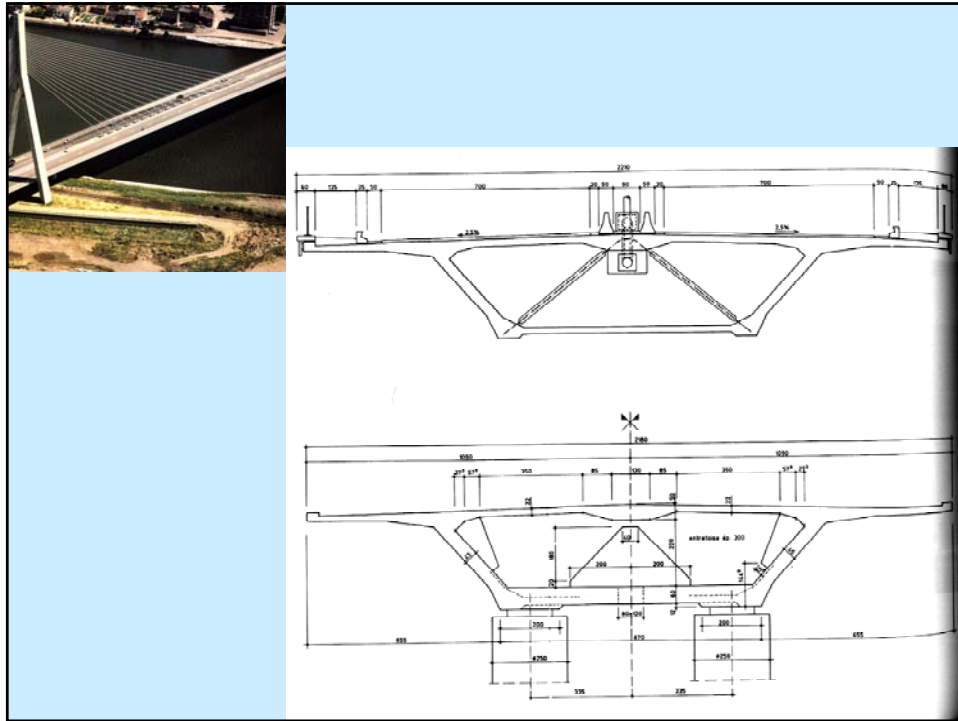


Dame Point, 1989, USA

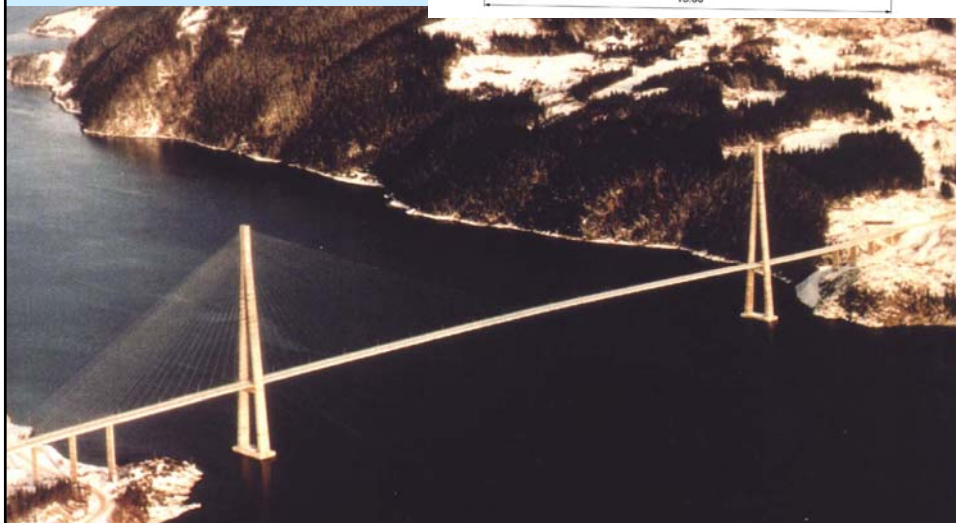
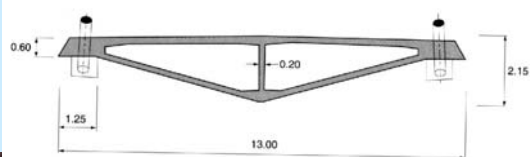


Wandre, 1989, Belgija

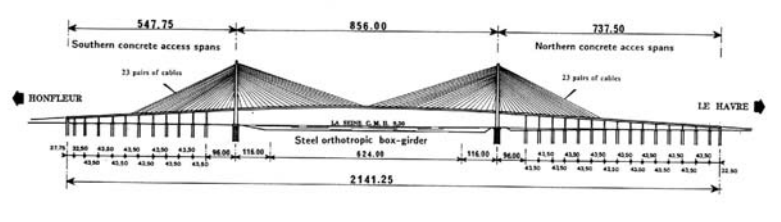


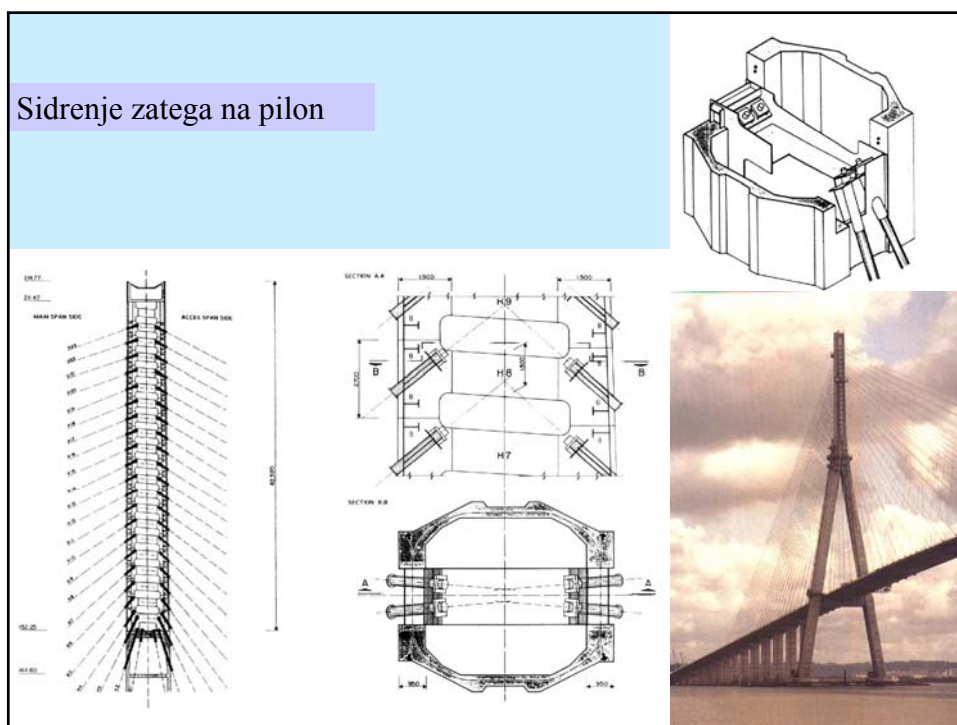
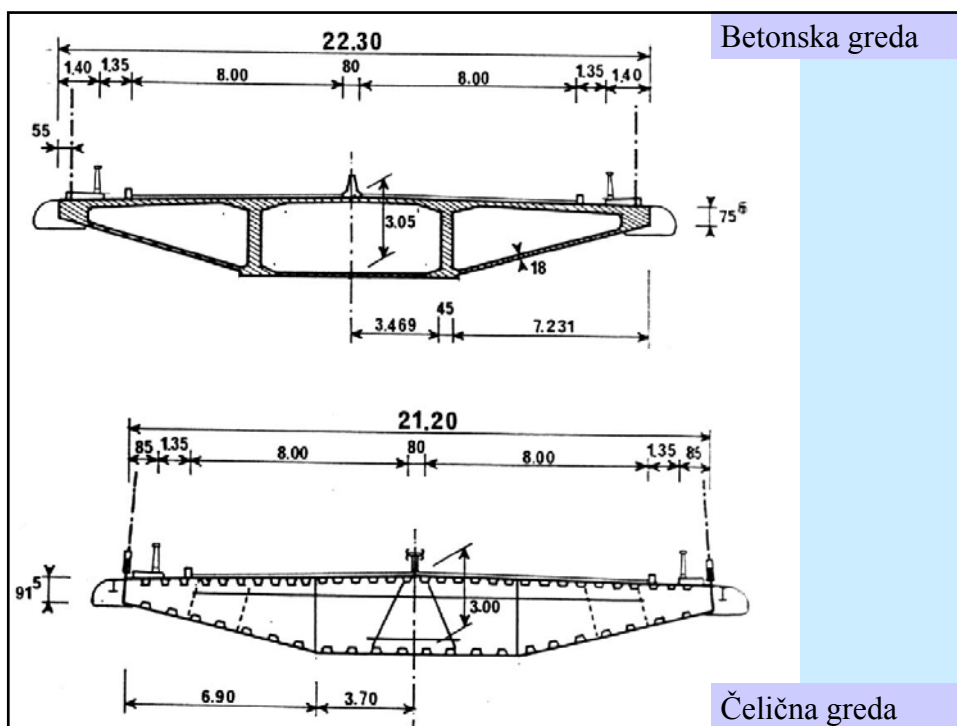


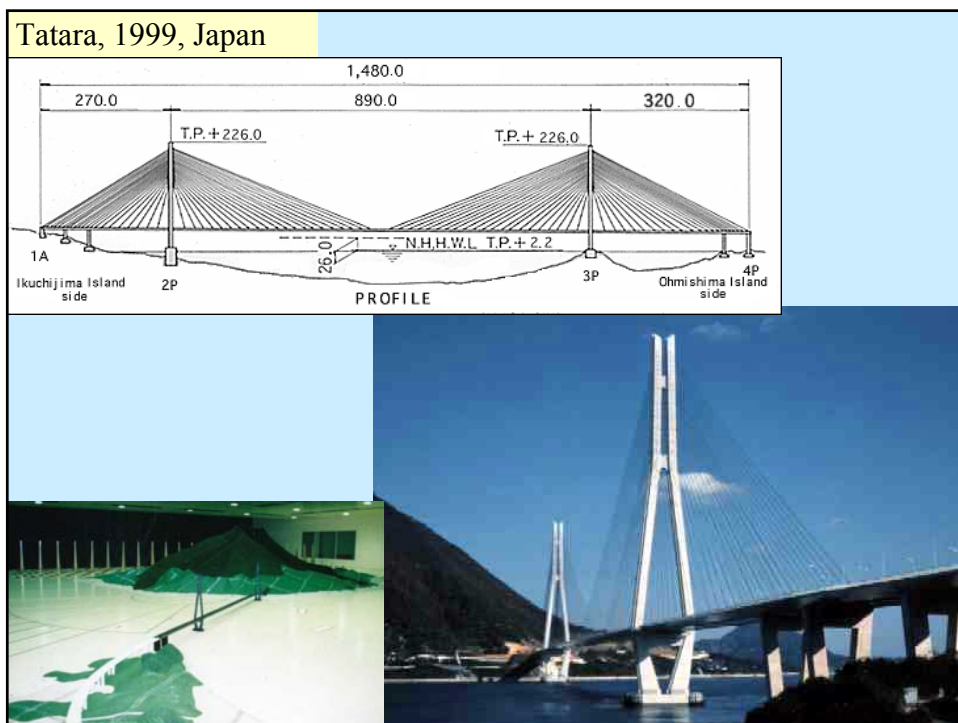
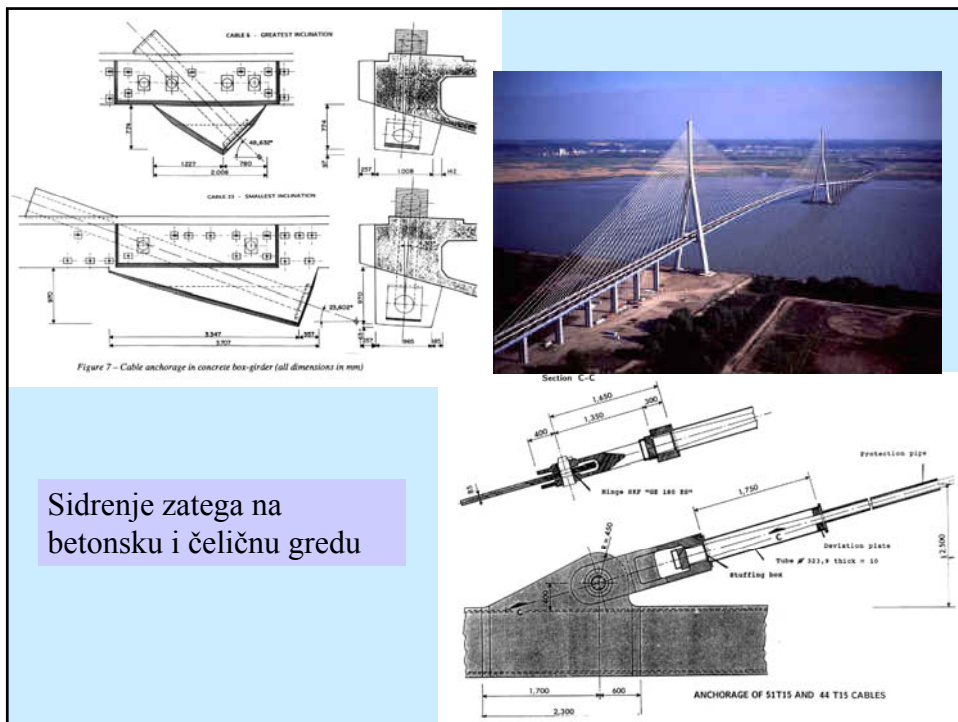
Skarnsundet, 1991, Norveška



Normandie, 1994, Francuska







Arena, Španjolska

