

SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE

--	--	--

Ana Mandić

Gordana Hrelja, Ivan Kalafatić

SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE

	Pregled kolegija
1.	Viseći mostovi – tipovi, konstrukcijski elementi, proračun, aerodinamička stabilnost
2.	Ljuske – teorija ljusaka, tipovi, proračun, primjeri
3.	Vlačne strukture – form finding, materijali
4.	Vlačne strukture – djelovanja, primjeri izvedenih građevina
5.	Visoke zgrade – konstruktivni sustavi, sustavi za horizontalna djelovanja, ukрутni sustavi
6.	Tornjevi, dimnjaci, jarboli, vjetroeletkrane – općenito, tipovi, funkcija, primjeri
7.	Betonski tornjevi – temeljenje, dimenzioniranje
8.	Vodotornjevi – funkcija, oblici, gradnja, seizmički proračun spremnika tekućina
	<i>1.Kolokvij (CJELINE 1-5) 27.03. 2012.</i>
9.	Čelični tornjevi, jarboli, dimnjaci - projektiranje
10.	Telekomunikacijske strukture – proračun jarbola sa zategama, rušenje jarbola sa zategama i tornjeva, temeljenje
11.	Pokretni mostovi – tipovi, primjeri projekata, izvedbe, održavanja
12.	Plutajući mostovi – tipovi, primjeri projekata, izvedbe, održavanja
	<i>2.Kolokvij (CJELINE 6-10) 12.04.2012.</i>
	<i>Popravni kolokvij (CJELINE 1-13) 17.04.2012</i>

SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE

1. PREDAVANJE

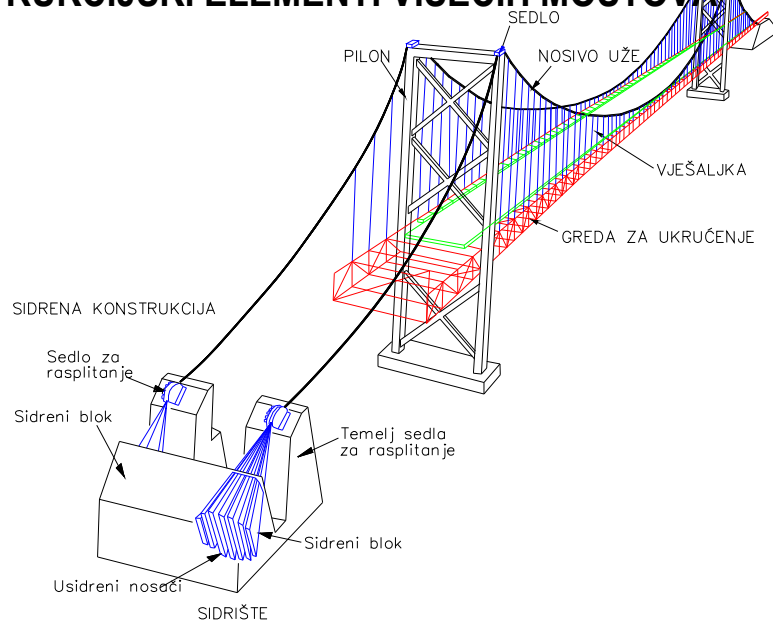
Viseći mostovi

VIŠEĆI MOSTOVI – SADRŽAJ PREDAVANJA

- Uvod:
 - Konstrukcijski elementi visećeg mosta
 - Statički sustav
 - Podjele visećih mostova
 - Povijesni pregled
 - Američki tip visećih mostova
 - Europski tip visećih mostova
- Hrvatski viseći mostovi
- Literatura
- Detaljnije o konstrukcijskim elementima
 - Nosivo uže
 - Vješaljke
 - Pilon
 - Greda za ukrućenje
- Proračun
- Aerodinamička stabilnost

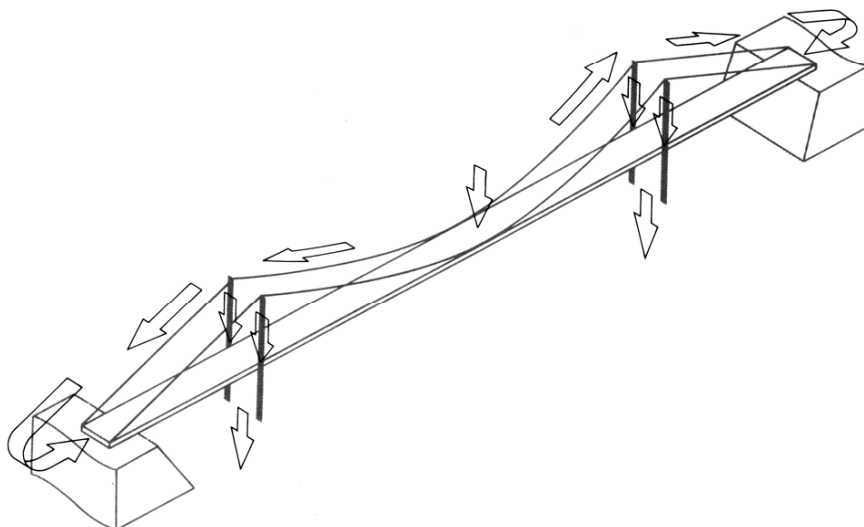


KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI VISEĆIH MOSTOVA



STATIČKI SUSTAV

- pravi viseći most usidren u tlo preko sidrenih blokova



PODJELE VISEĆIH MOSTOVA

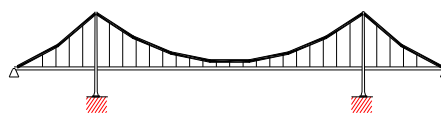
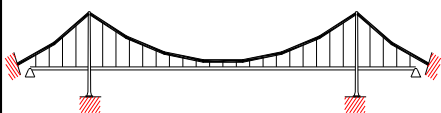
□ Podjela prema unosu sile iz užeta:

■ PRAVI VISEĆI MOST

- vertikalna i horizontalna komponenta sile iz užeta predaju se u sidreni blok

■ NEPRAVI VISEĆI MOST

- horizontalnu komponentu preuzima greda za ukrućenje, a vertikalnu sidrena konstrukcija



PODJELE VISEĆIH MOSTOVA

□ Podjela po broju ovješanih otvora:

■ MOST S JEDNIM OTVOROM

- na užu je ovješeni samo središnji otvor

■ MOST S TRI OTVORA

- na užu su ovješeni i srednji i bočni otvori



PODJELE VISEĆIH MOSTOVA

□ Podjela po statičkom sustavu grede:

■ DVOZGLOBNA GREDA

- greda je zglobno oslonjena na mjestu pilona

■ GREDA KAO KONTINUIRANI NOSAČ

- na pilonima elastično ovješena greda ima (kruti) ležaj i kontinuitet za savijanje



PODJELE VISEĆIH MOSTOVA

□ Podjela po rasporedu vješaljki

■ VERTIKALNE VJEŠALJKE

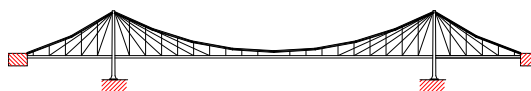
- vješaljke grede za ukrućenje ugrađuju se vertikalno

■ DIJAGONALNE VJEŠALJKE

- pod opterećenjem u gredi nastaju uzdužne sile

■ KOMBINIRANI SUSTAV

- uz vertikalne vješaljke ugrađuju se i kose zatege – povećava se krutost sustava i smanjuje progibanje



POVIJESNI PREGLED

□ Primitivni viseći most:

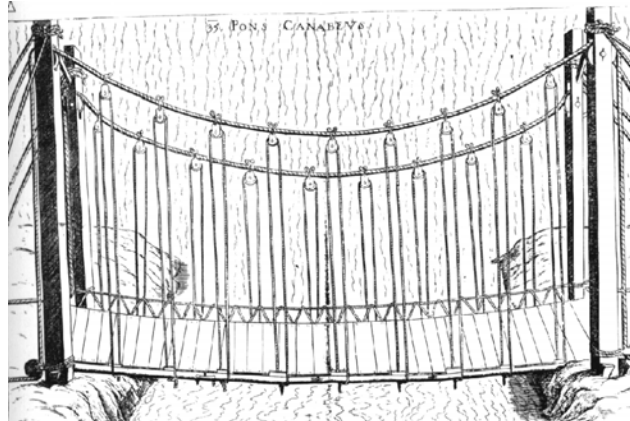
- nosivi sklop poznat od pamtivjeka



POVIJESNI PREGLED

□ Faust Vrančić: knjiga *Machinae Novae* (1615)

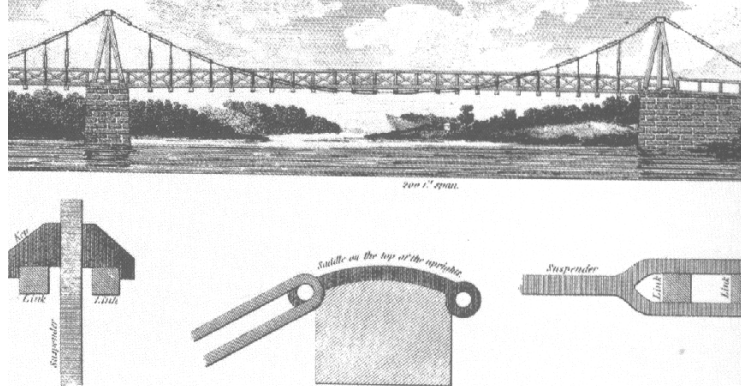
- *Most od konopa*: Ovaj je most načinjen od dva ili više brodskih konopa, zavješeno na dva stupa na obje obale. Ali da bi most stajao napet i da se ne bi savijao od težine onih koji preko njega prolaze, treba konope, zavezane za brodsku užad, prema potrebi zategnuti ili popustiti. Ovaj se most može sklopiti i prenositi, stoga dobro služi i u ratu.



POVIJESNI PREGLED

□ Finlay: lančasti viseći most (1807)

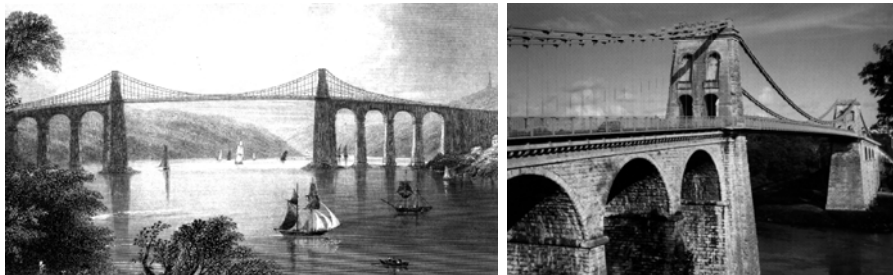
- Lanci od kovanog željeza, istočni raspon 60,96 m, zapadni raspon 30,48 m,
- srušio se 1816. pod snježnim opterećenjem u kombinaciji s zaprežnim kolima sa 6 konja
- Zamijenjen prvim američkim mostom od lijevanog željeza 1835..



POVIJESNI PREGLED

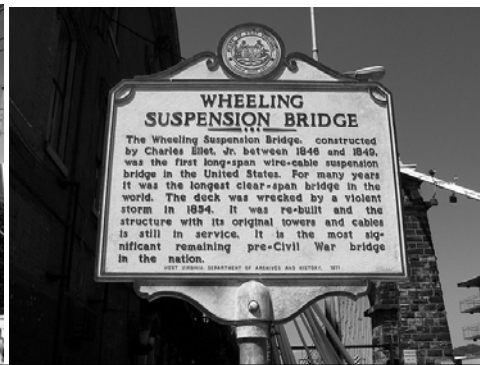
□ Thomas Telford: lančasti most preko tjesnaca Menai (Menai Straits), UK

- L=152 m; zahtjev na slobodni profil od 26 m za brodove na jedra; 16 masivnih lanaca između dvaju pilona, izvedba: 1819 - 1826.
- Da bi se spriječila korozija željeza između proizvodnje i uporabe, ono se uranjalo u laneno ulje
- Lanci – užad su se postavljali u tri dijela, bočni i središnji dijelovi, 11 tjedana
- O lance su se ovjesile šipke – vješaljke i spajale vijcima za željezne nosače drvene kolničke površine
- Za lukove i stupove koristio se kamen na bazi vapnenca



POVIJESNI PREGLED

- most *Wheeling*, Ohio, SAD: projektant Charles Ellet
 - izvedba: 1846.; $L=340$ m; kabeli od željeznih žica
 - srušio se 1854. u oluji koja je izazvala torzijske pomake i vertikalna lelujanja
 - Obnovljen proširenjem kolnika s 4,95 na 6,1 m, uz primjenu čeličnih rešetkastih nosača kolnika, a naknadno dodavanjem kosih zatega
 - Most je još u upotrebi ali s ograničenom težinom vozila od 1,8 t i ograničenim minimalnim razmakom između vozila od 15 m



POVIJESNI PREGLED

- Most *Clifton*, UK
 - izvedba: 1864.
 - projektant: Isambard Kingdom Brunel
 - $L = 214,05$ m; $b=9,4$ m;
 - $h = 75$ m iznad visoke vode
 - $H = 26$ m, visina pilona iznad kolnika
 - Tri neovisna lanca od kovanog željeza sa svake strane i 81 vertikalna šipka od kovanog željeza visine od 20 do 0,91 m
 - Lanci se sidre u tunnelima u stijeni 18 metara ispod razine terena



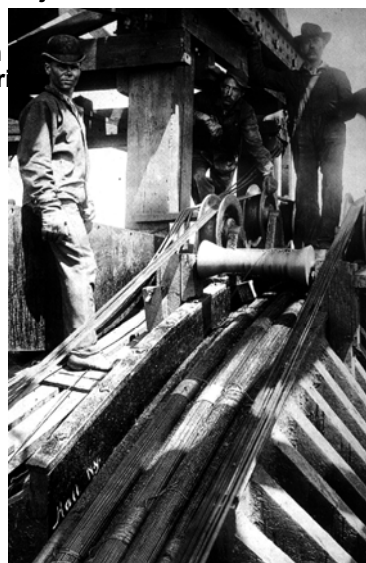
AMERIČKI TIP V.M. ↔ EUROPSKI TIP V.M.

- Američki tip visećeg mosta ima gredu za ukrućenje rešetkastog tipa.
- Punostijeni glavni nosači nisu se dokazali u praksi (vidi most Tacoma)
- Pod europskim tipom visećeg mosta podrazumijeva se greda za ukrućenje aerodinamički oblikovanog sandučastog poprečnog presjeka.



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- Početak gradnje američkih visećih mostova uvjetno se može vezati za projektanta Johanna Röbling-a.
- On je patentirao novi način izvedbe nosivih kabela "aerial spinning", koji se i danas koristi.
- Željeznički most preko Niagare (1859)



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- aerial spinning:
- kabeli se postavljaju prevlačeći pojedinačne žice između sidara i preko sedala na pilonima uz pomoć kotača koji se okreću
- Potrebno je zračno uže i radna platforma – mačka, koja prelazi s jedne na drugu stranu preko sedala na vrhu pilona.

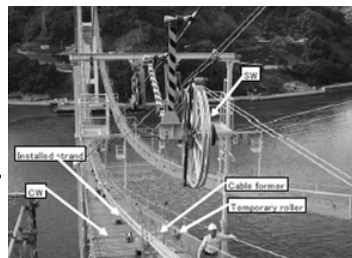


Photo 2: AS (Aerial Spinning) work (return route)



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

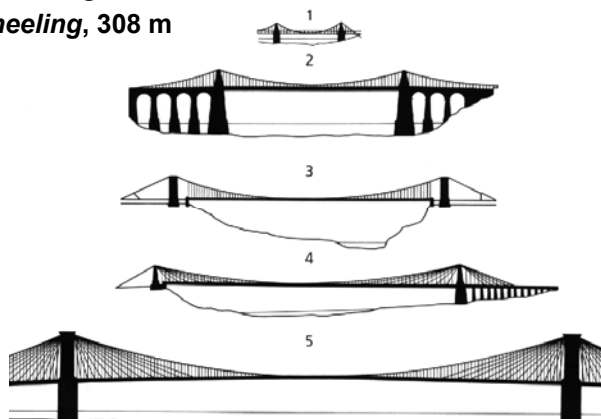
- most Brooklyn remek-djelo Johanna Röbling-a
- i danas je simbol New York-a



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

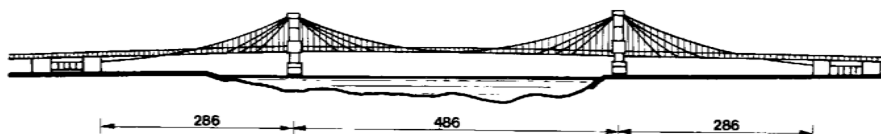
□ Rasponi prije mosta *Brooklyn*

1. Finlay, L=61 m
2. Telford, *Menai Straits*, L=152 m
3. Joseph Chaley *Freiburg*, L=273 m
4. Charles Ellet, *Wheeling*, 308 m
5. *Brooklyn*, 486 m



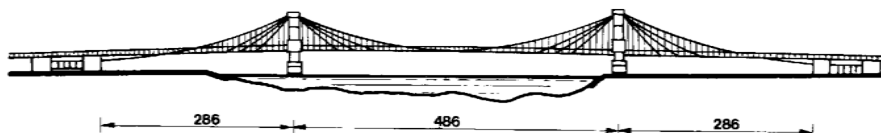
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- most *Brooklyn*: projektanti Johann i Washington Roebling
- vrijeme izgradnje: 1870. - 1883.
- glavni raspon: 486 m
- razmak sidrišta (3 glavna raspona): 1.053 m
- širina: 26 m, 6 prometnih trakova



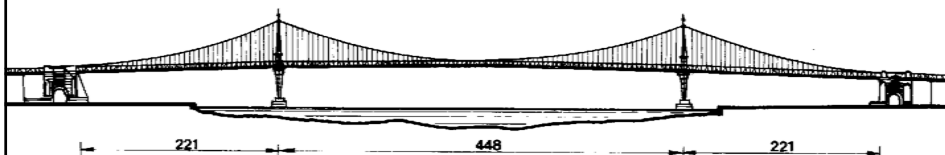
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- Nekoliko Roeblingovih i prijašnjih visećih mostova zapravo su mješoviti sustavi.
- Uz nosivo uže oblika lančanice na koje se vješa kolnička konstrukcija ugrađena je i kosa užad
 - koja također prenosi vertikalno opterećenje u pilone,
 - ali i uzdužne sile u nosače kolnika.
 - Kosom užadi postiže se određena krutost sustava, slično rešetkastom djelovanju,
 - ali je unošenje horizontalne komponente u relativno ipak podatan viseći sustav ostalo nejasno.



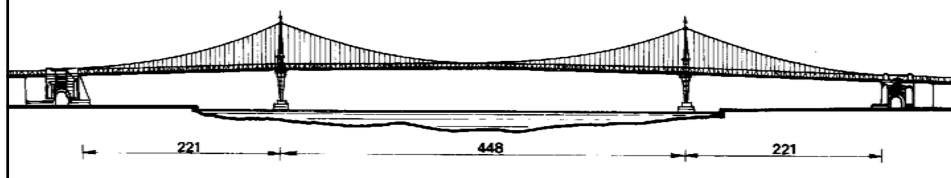
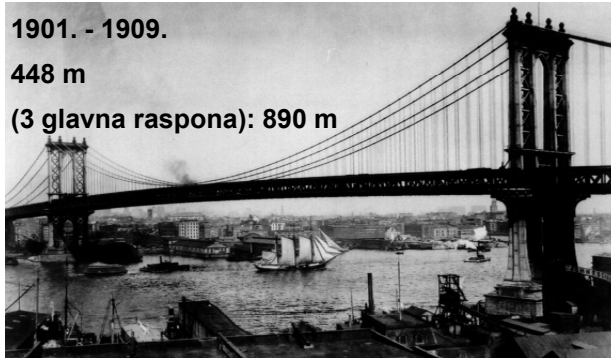
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- Nekoliko Roeblingovih i prijašnjih visećih mostova zapravo su mješoviti sustavi.
- Uz nosivo uže oblika lančanice na koje se vješa kolnička konstrukcija ugrađena je i kosa užad
 - koja također prenosi vertikalno opterećenje u pilone,
 - ali i uzdužne sile u nosače kolnika.
 - Kosom užadi postiže se određena krutost sustava, slično rešetkastom djelovanju,
 - ali je unošenje horizontalne komponente u relativno ipak podatan viseći sustav ostalo nejasno.
- Stoga je u kasnijim izvedbama kosa užad izostavljena,
 - nosivo je uže sidreno u posebne temeljne blokove,
 - a iz obješene grede otklonjena je uzdužna sila



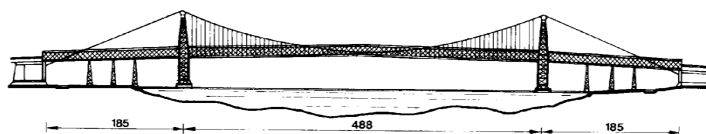
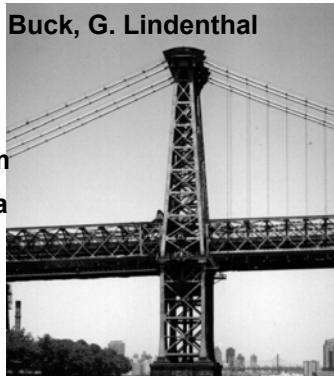
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- most *Manhattan*: projektant R. R. Buck, G. Lindenthal, R. Modjeski
- vrijeme izgradnje: 1901. - 1909.
- glavni raspon: 448 m
- razmak sidrišta (3 glavna raspona): 890 m



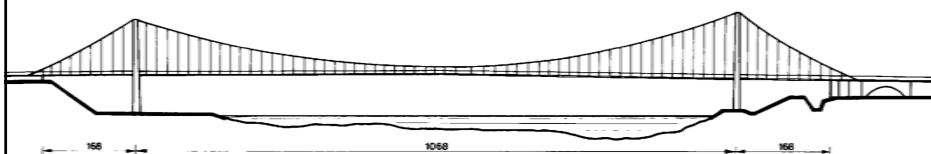
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- Most *Williamsburg*: projektanti: Leffert L. Buck, G. Lindenthal
- vrijeme izgradnje: 1896. - 1903.
- glavni raspon: 488 m
- razmak sidrišta (3 glavna raspona): 670 m
- 8 cestovnih trakova + 2 kolosijeka metroa



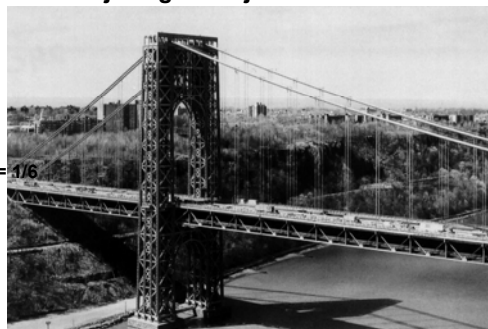
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- Most George Washington: projektant: Othmar Ammann
- glavni statičar: Leon S. Moisseiff
- prepreka: rijeka Hudson
- vrijeme izgradnje: 1927. - 1931.
- glavni raspon: 1.067 m
- razmak sidrišta (3 glavna raspona): 1.451 m
- širina: 2 x 36,3 m (promet u dvije razine)
- visina slobodnog profila: 64,9 m



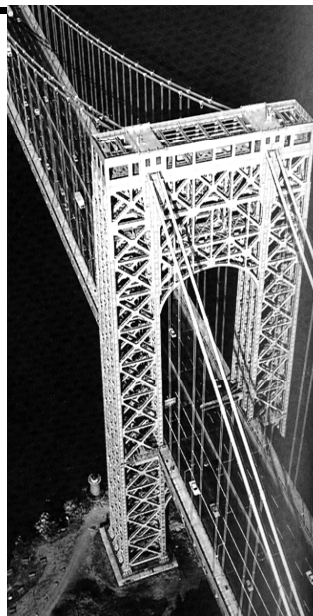
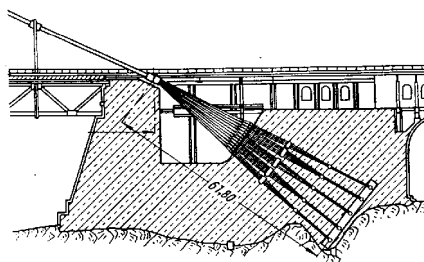
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- Most George Washington:
- Odnos između visine nosača za ukrućenje i raspona: $h/l=1/120$
- Odnos širine i raspona: $b/l=1/33$
- Odnos između strelice užeta i raspona: $f/l=1/11$
- U 1. etapi gradnje sagrađen je samo gornji kat, pa je viseći most dugo vrijeme bio bez nosača za ukrućenje.
- Drugi kat zajedno s nosačima za ukrućenje sagrađen je tek nakon 30 godina (1962.)
- Ipak, most je ostao stabilan pod djelovanjem vjetra, zbog
 - Male strelice užeta
 - Velike širine konstrukcije
 - Relativno velikog stalnog tereta $p/g = 1/6$



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ **Most George Washington:**
- ❑ *U želji da se postigne osobito monumentalno djelovanje, portalni stupovi bili su izvedeni kao rešetkaste čelične konstrukcije koje su kasnije trebale biti obložene kamenim pločama.*
- ❑ *Zbog općeg protesta tehničke javnosti, predviđeno maskiranje nije provedeno.*
- ❑ *U sadašnjem obliku portali ne djeluju povoljno. Estetski izgled nije popravljen ni naknadnom dogradnjom portala iznad ležišta kabela.*



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

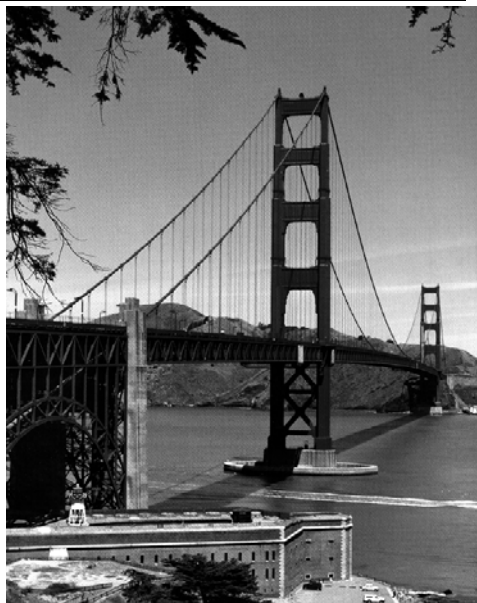
- ❑ **Most Golden Gate:** projektant: J. Strauss
- ❑ konzultant: O. Ammann
- ❑ rasponi: 343+1.280+343 m
- ❑ dovršen: 1937.
- ❑ visina grede: 7,6 m
- ❑ visna pilona: 227,4 m



- ❑ Odnos između visine nosača za ukrućenje i raspona: $h/l=1/168$
- ❑ Odnos širine i raspona: $b/l=1/47$
- ❑ Odnos između strelice užeta i raspona: $f/l=1/8$

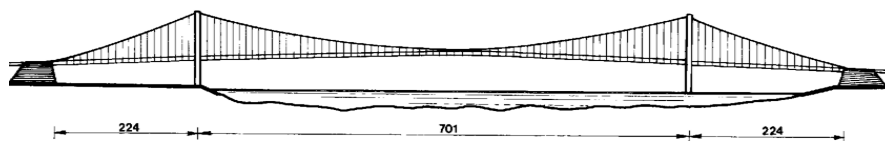
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ Most Golden Gate:
- ❑ 1952. djelovanje vjetra uzrokovalo je vrlo jake vibracije na mostu, s amplitudama približno $\pm 4,0$ m.
- ❑ Kolnička konstrukcija bila je relativno malo oštećena, a do katastrofe vjerojatno nije došlo jer je vjetar prestao nakon 4h.
- ❑ Prilikom sanacije konstrukcije na donjem pojasu grede za ukrućenje ugrađen je horizontalni vjetrovni spreg, čime je povećana sigurnost od nepoželjnih vibracija



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Bronx-Whitestone: projektant: Othmar Amman
- ❑ prepreka: East River
- ❑ vrijeme izgradnje: 1937. - 1939.
- ❑ glavni raspon: 701 m
- ❑ razmak sidrišta (3 glavna raspona): 1149 m
- ❑ širina: 30,5 m
- ❑ visina slobodnog profila: 45,7 m

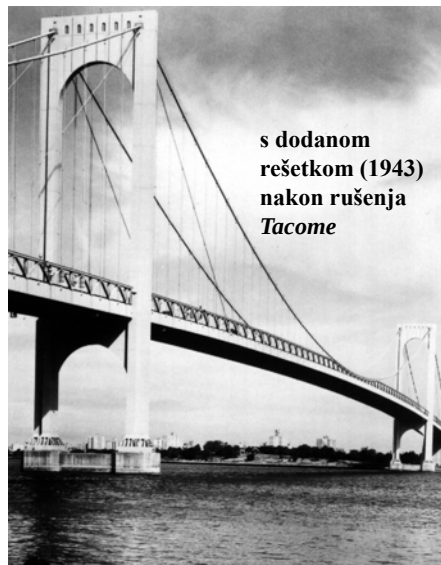
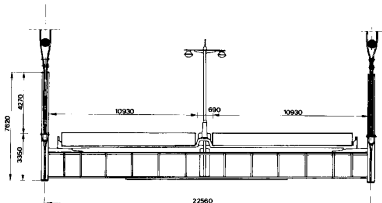


AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

□ most *Bronx-Whitestone*:



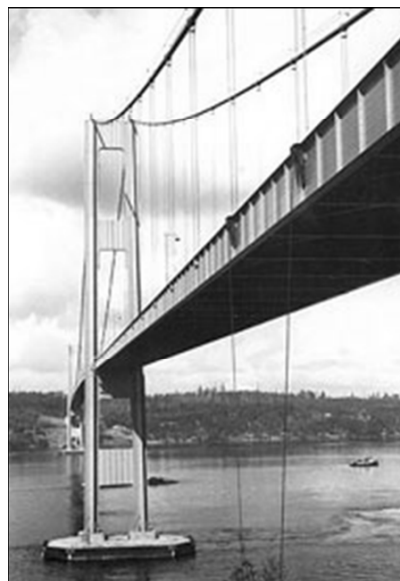
izvorni izgled –
punostijeni nosači
(1940)



s dodanom
rešetkom (1943)
nakon rušenja
Tacome

AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- most *Tacoma Narrows*:
projektant: Leon S. Moiseiff
- veličina glavnog raspona: 853 m
- širina kolničke konstrukcije: 12 m
- greda za ukrućenje – vitki
punostijeni nosači, debljine 2,4 m,
- dovršen: 1940.
- srušio se iste godine



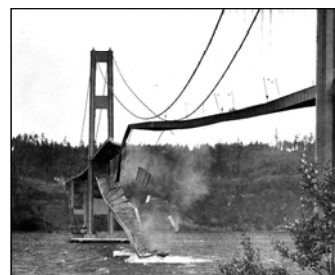
MOST TACOMA NARROWS

- ❑ POGREŠKA: u nastojanju za ostvarenjem što većih raspona što vitkijim i tanjim konstrukcijama, zaboravilo se na osjetljivost konstrukcije na dinamička djelovanja,
 - koja mogu imati izvoriste u prometnom opterećenju (karakteristično za željezničke mostove) ili vjetru.



MOST TACOMA NARROWS

- ❑ ISTRAGA O UZROCIMA RUŠENJA MOSTA ⇨
- ❑ Upute za kasniju praktičnu primjenu visećih mostova:
 - Važnost prigušenja
 - Važnost osiguranja vertikalne krutosti
 - Važnost osiguranja torzijske krutosti



MOST TACOMA NARROWS

□ KONKRETNE PREPORUKE:

- Koristiti rešetkaste grede za ukrućenje (smanjenje pritiska vjetra)
- Povećati omjer širina/raspon
- Povećati težinu mosta
- Prigušiti konstrukciju
- Povećati krutost i visinu grede za ukrućenje
- Aerodinamičko oblikovanje grede



MOST TACOMA NARROWS

□ Nova konstrukcija iz 1950.

- zamijenila srušenu
- ima rešetkastu gredu za ukrućenje debljine 10 m, a širine 18,3 m
- čelični piloni

□ Najnovija konstrukcija 2007.

- paralelni most
- piloni u armiranom betonu



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

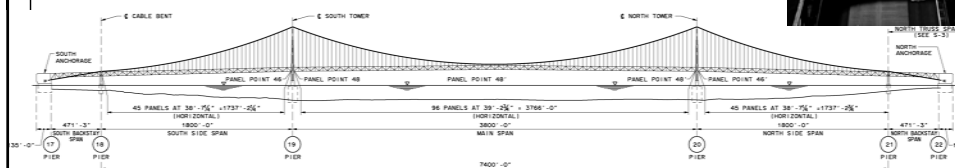
□ Neki geometrijski odnosi greda za ukrućenje

Most	<i>Tacoma Narrows</i> (1940)	<i>Bronx-Whitestone</i> (1939)	<i>George Washington</i> (1931)
visina grede/ raspon	1:350 (1:86)	1:209 (1:91)	1:120 (1:89)
širina/ glavni raspon	1:72	1:31	1:33
bočni raspon/ glavni raspon	1:2,6	1:3,1	1:5,6

Napomena: Odnosi visina / raspon u zagradi su za most Bronx-Whitestone nakon dodavanja rešetke, a za most George Washington nakon izvedbe donjeg kolnika , a za most Tacoma za novu konstrukciju s rešetkastom konstrukcijom za ukrućenje.

AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- most Mackinac: projektant David Steinman
- Prvi veliki viseći most izveden nakon rušenja *Tacome*
- izvedba: 1954. - 1957.
- rasponi: 548+1.158+548 m
- ukupna duljina zavješnog dijela: 2254 m
- visina pilona: 168 m



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Mackinac:
- ❑ Zbog neuobičajeno velikih bočnih raspona ugrađeni su najduži kabeli.
- ❑ Konstrukcija je u poprečnom presjeku klasično oblikovana s vrlo povoljnim odnosom između visine i širine grede 11,6/20,9
- ❑ U kolniku koji ima samo 4 traka izvedeni su stabilizirajući uzdužni prorezi pa se ovaj most smatra jednim od najsigurnijih visećih mostova.



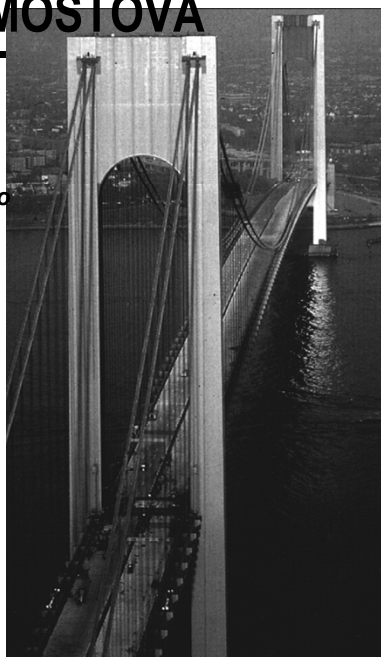
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Verrazano Narrows: projektant: Othmar Amman
- ❑ vrijeme izgradnje: 1959. - 1964.
- ❑ Sagrađen na temelju novih spoznaja i suvremenom tehnologijom
- ❑ glavni raspon: 1.298 m
- ❑ razmak sidrišta (3 glavna raspona): 2.038 m



AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Verrazano Narrows:
- ❑ *Most je namjenjen cestovnom prometu, s dva kata i 12 prometnih trakova.*
- ❑ *Odnos visine grede i rapona $h/L=1/180$ što je granični odnos,*
- ❑ *ali ima zamjetnu torzijsku krutost zbog sandučastog profila i jakih poprečnih dijafragmi, tako da je pri modelskom ispitivanju u vjetrovnom tunelu pokazao veliku otpornost.*



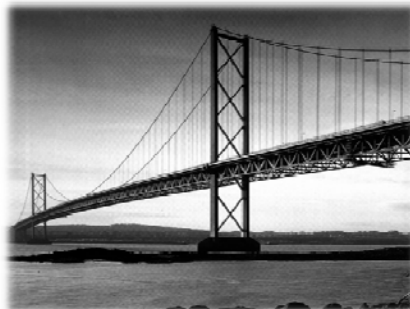
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ Most Firth of Forth, Škotska, 1964.:
- ❑ *U neposrednoj blizini poznatog željezničkog mosta*
- ❑ $L=409+1.006+409$ m
- ❑ Prvi put u Europi premašen raspon 1000 m
- ❑ Europski po lokaciji, američkog tipa



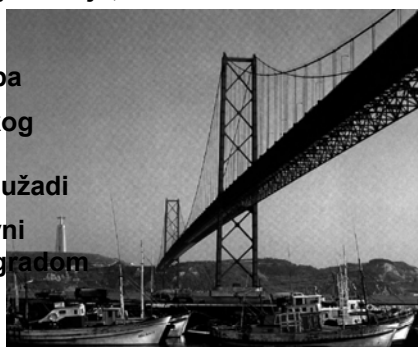
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- Most Firth of Forth :
- Zbog nepovoljnih odnosa između postraničnog i srednjeg raspona, izbalansirana su opterećenja na pilone
- Za konstrukciju kolnika u srednjem raponu primjenjena je čelična ortotropna ploča, a u bočnim rasponima ab kolnička ploča.



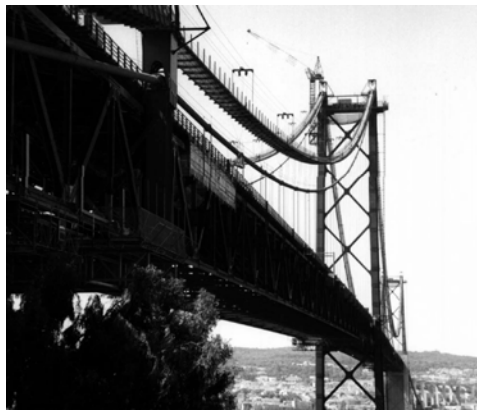
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- Most 25 de Abril , Lisabon, ušće rijeke Tejo, 1966.
- $L=1.013m$
- Europski po lokaciji, američkog tipa
- Konstrukcija robusnija od Forthskog jer je predviđen i kao željeznički s tim da se u 2. fazi ojača i kosom užadi
- U 1.fazi funkcionirao je kao cestovni s 4 prometna traka i središnjom ogradom koja je 1990. uklonjena tako da se omogući i 5. vozni trak.



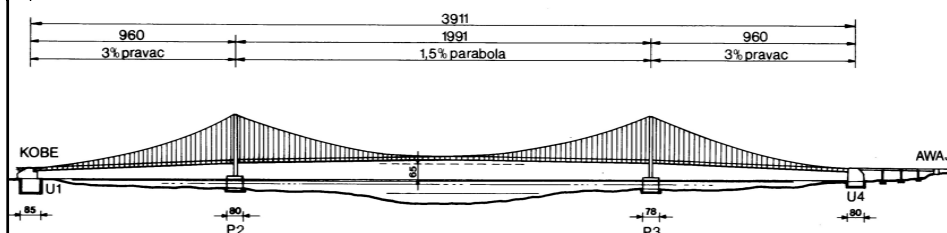
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ Most 25 de Abril,
- ❑ Rekonstrukcija 1999.
- ❑ Tek tada je uspostavljen željeznički promet na donjoj razini dodana platforma za vlak
- ❑ Rekonstrukcija je podrazumijevala i umetanje dodatnih kabela i proširenja na 6 prometnih trakova i bojanje cijelog mosta.



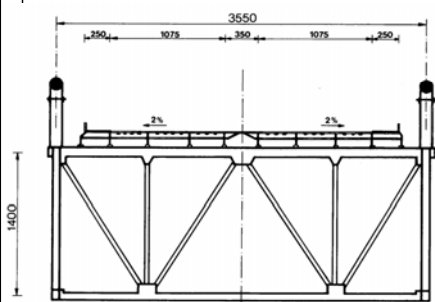
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Akashi-Kaikyo, Kobe-Naruto, Japan, 1998.
- ❑ **L=1991**
- ❑ Temeljen na iznimno masivnim temeljima, ali na relativno mekom tlu – unaprijeđeno je modeliranje konstrukcije za djelovanje potresa.
- ❑ Most je u procesu gradnje bez oštećenja nosive konstrukcije podnio, za ostale postojeće mostove, katastrofalni potres u Kobeu 1995.



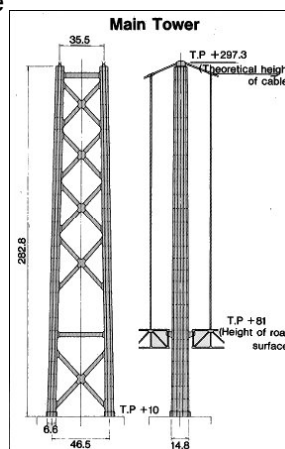
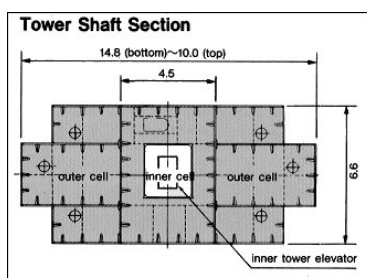
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Akashi-Kaikyo
- ❑ Greda za ukrućenje – 90 000 t čelika visoke čvrstoće
- ❑ 6 prometnih traka
- ❑ Ugrađen sustav za praćenje ponašanja konstrukcije tijekom uporabe
- ❑ Antikorozivna zaštita:
 - visokovrijedni premazi za zaštitu užadi od korozije u agresivnoj morskoj sredini
 - sustav upuhivanja toplog zraka u ošupljenu unutrašnjost užeta



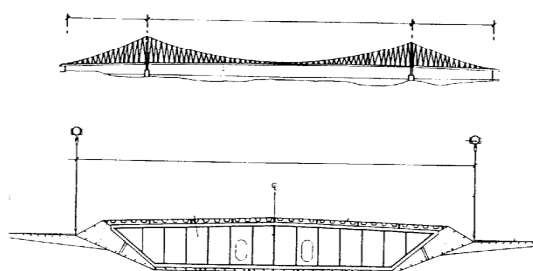
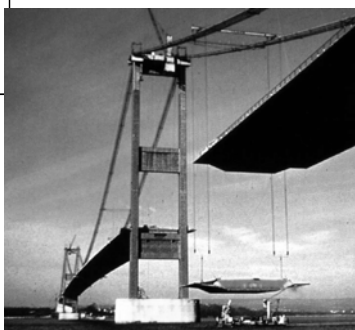
AMERIČKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Akashi-Kaikyo
- ❑ Piloni mosta temeljeni su na kesonima potopljenima u morsko dno, a sidreni blokovi na poboljšanom obalnom tlu.
- ❑ U pilone i sidrene blokove ugrađen je za potrebe gradnje ovog mosta razvijen visokofluidni beton koji nije potrebno zbijati



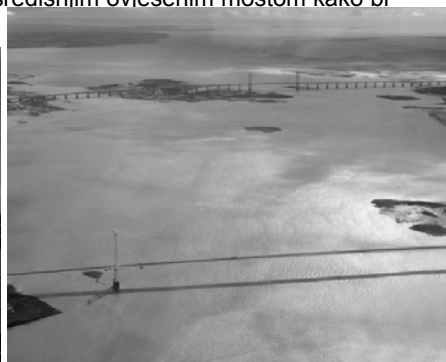
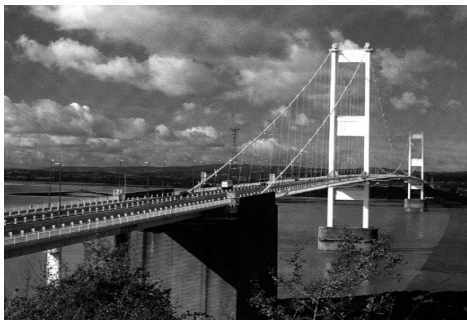
EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Severn, U.K., 1966.
- ❑ **L=305+988+305 m**
- ❑ *Greda relativno meka na savijanje, ali torzijski kruta*
- ❑ *Sandučastog poprečnog presjeka, $h=3,0$ m, specifičnog aerodinamičnog oblika s laganom čeličnom ortotropnom pločom*
- ❑ *Zadovoljavajuća aerodinamička stabilnost u vjetrovnim tunelima postignuta je kada su umjesto vertikalnih upotrebljene kose vješaljke.*



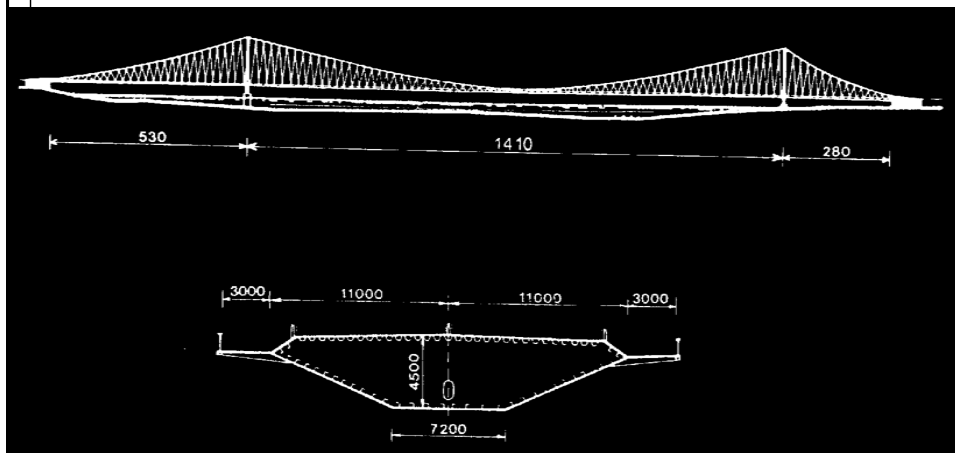
EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Severn, rekonstrukcija 1992.
- ❑ Zbog povećanog prometa most je ojačan: ojačani su piloni i greda (uglavnom s unutrašnje strane) i jednostruka vješaljka zamijenjena dvostrukom otvorenog tipa što olakšava održavanje.
- ❑ Kolnički slojevi su zamijenjeni.
- ❑ Most ima samo po dva prometna traka u pojedinom smjeru, a vrlo velik promet, pa je 1996 sagrađen novi sa središnjim ovješnim mostom kako bi preuzeo dio prometa



EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Humber, U.K, 1981.
- ❑ $L=1.410\text{m}$
- ❑ Relativno mali stalni teret, zadovoljio na modelima u vjetrovnim tunelima



EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Humber
- ❑ *Smanjio je put između gradova Hull i Grymbsi za 80 km*
- ❑ Promet se odvija u dvije razine, na donjoj razini je pješački i biciklistički promet.
- ❑ Na mostu je brzina vožnje ograničena na 80 km/h
- ❑ Još uvijek je najduži most koji se može proći pješke ili biciklom (2220 m)



EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

□ most *Humber*

- Svaki pylon sastoji se od para šupljih betonskih stupova visine 155,5 pravokutnog presjeka dimenzija 6,0 m pri temelju i 4,5 x 4,75 na vrhu
- Most je projektiran da može podnijeti pomake od 3,0 m pri brzini vjetra od 129 km/h.
- Sjeverni pylon je na tlu s temeljima dubine 8,0 m, a južni u vodi s temeljima na dubini 36 m.



EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

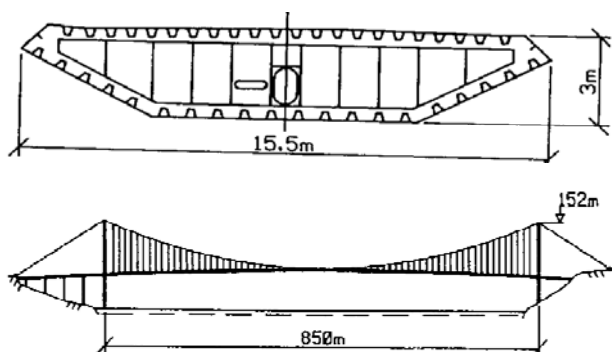
□ most *Höga Kusten*, Švedska, 1997.

- $L=1.210\text{m}$, $B=17,8\text{ m}$, $H_{\text{ab,pylona}}=180\text{ m}$ (najviše građevine u Švedskoj)
- U vjetrovnom tunelu ispitivane su i faze gradnje šuplje grede (posebice nestabilnosti uzrokovane flutterom) te je utvrđeno da je povoljnija nesimetrična nego tradicionalna simetrična gradnja.



EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- **Most Askøy, Norveška (1992), L=850m**
- $H_{ab, pilaona} = 152$ m, debljina pilona 4,5 m, širina 13,5 m pri vrhu, 21 m pri dnu. Imaju tri prečke, ispod greda na 56,4 m, na visini 102,2 m i na vrhu
- Bočni i prilazni rasponi su betonski
- Dva vozna traka 4.36 m i pješačke i biciklističke staze od 3.45 m, a li se po potrebi može preoblikovati tako da ima tri prometna traka



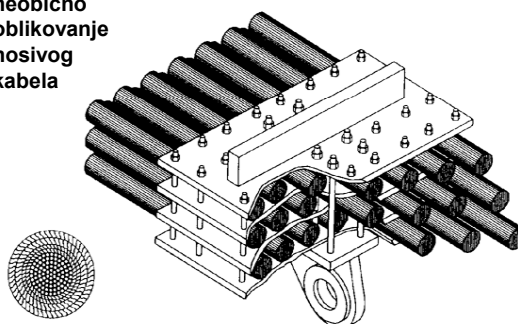
EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

□ **Most Askøy**

- Dva glavna užeta su sastavljena od po 20 kabela.
- Kvaliteta čelika kabela je 1570 MPa, svaki kabel koji se sastoji od 289 žica preuzima 9060 kN.
- Užad se sidri u stijenu 35 m ispod razine ceste.



neobično oblikovanje nosivog kabela



EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ **Most *Tsing Ma*, Hong Kong (1997)**
- ❑ **L=1.377 m, B=41 m**
- ❑ Najveći most koji nosi i cestovni i željeznički promet
- ❑ Na gornjoj razini su 2x3 prometna traka.
- ❑ Na donjoj dvotračni željeznički promet.
- ❑ Na donjoj razini su i dva natkrivena traka za potrebe održavanja ili za slučaj nevremena (tropski ciklon).



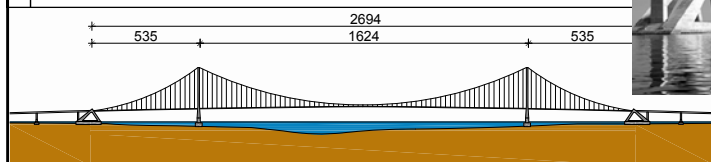
EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ **Most *Tsing Ma***
- ❑ 96 segmenata grede, svaki 18 m dug i mase 480 t
- ❑ dijelovi proizvedeni u Japanu, a spajani u module u Kini
- ❑ doplovljeni baržama
- ❑ i podizani užadima preko glavnog nosivog užeta



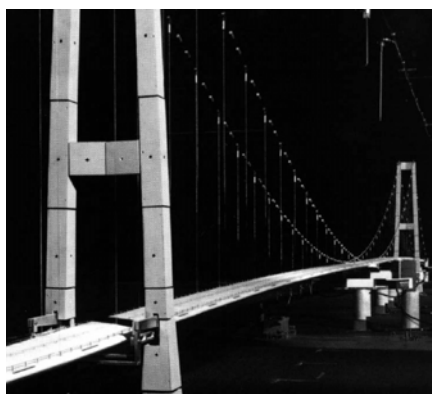
EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ **most *Storebælt*, Danska**, povezuje najveće otoke Zealand i Funen (1998)
- ❑ **$L=535+1.624+535$ m**
- ❑ Slobodni profil 65 m
- ❑ Veliki izazov sidreni blokovi temeljeni na mekom tlu, 10 m ispod razine mora.
- ❑ Primijenjen gravitacijski tip sidrenog bloka,
 - s masivnim dijelovima koncentriranim ispod površine mora u kesonima ispunjenim pijeskom, ugljenom i željeznom rudačom,
 - dok iznad površine mora izvire okvirna konstrukcija, simbolično izražavajući prijenos sila.



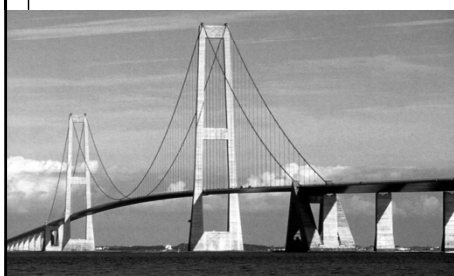
EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ **most *Storebælt***
- ❑ Betonski piloni mosta visoki su 254 m (najviše izgrađene građevine u Danskoj)
- ❑ temeljeni su u moru na kesonima 78x35 m, dubine 20 m
- ❑ Ispitivanja u vjetrovnom tunelu



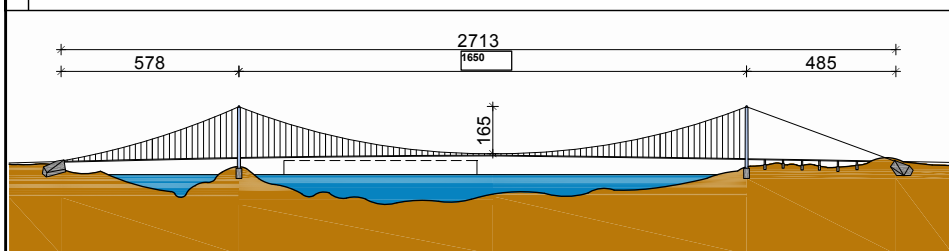
EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Storebælt
- ❑ Čelična greda za ukrućenje – sanduk aerodinamičnog oblika
- ❑ Odsječci duljine 48 m doplovljeni ispod mosta, podignuti i zavareni jedan do drugog
- ❑ 57 odsječaka, po 1000 tona
- ❑ Uže za vješanje promjera 85 cm



EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Xihumen, Kina 2007.
- ❑ analizirane su tri varijante dispozicija s glavnim rasponom od 1650, 1520 i 1312 metara, no uključujući parametre izvodljivost temelja pilona, troškove i vrijeme građenja pokazalo se da je varijanta s rasponom od 1650 m, koja isključuje građenje pod morem, najpovoljnija.
- ❑ Posljedica ovog izbora je nesimetrična dispozicija mosta:
 $L=578 + 1650 + 485$ m



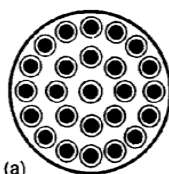
EUROPSKI TIP VISEĆIH MOSTOVA

- ❑ most Xihumen, Kina 2007.
- ❑ Greda za ukrúčenje sastoji se od dva sanduka izvedena od ortotropnih ploča međusobno povezanih poprečnim nosačima duljine 6 m.
- ❑ Poprečni presjek grede, visine 3,51 m i ukupne širine od 36 m, je nepromjenljiv duž čitave duljine mosta i provodi četverotračni cestovni promet sa srednjim razdjelnim pojasom širine 6 m.
- ❑ Kako je greda kod sjevernog pilona kontinuirano vješana, na sjeverni pilon su postavljene samo dvije poprečne ukrute iznad grede, dok je kod južnog pilona dodana treća ukruta ispod grede.

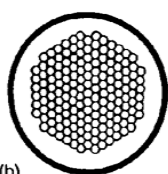


DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA NOSIVO UŽE

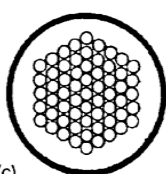
- ❑ izvodi se od čelika čvrstoće 1570 MPa i više (do 2000 MPa)
- ❑ plete se od žica promjera 5 do 7 mm
- ❑ ovisno o načinu slaganja žica razlikujemo užad načinjenu od:
 - snopova paralelnih žica
 - snopova paralelnih strukova
 - paralelnih šipki
 - zatvorene spiralne užadi (jednog ili više)
 - spiralnih užadi (jednog ili više)



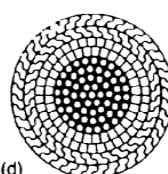
(a)



(b)



(c)



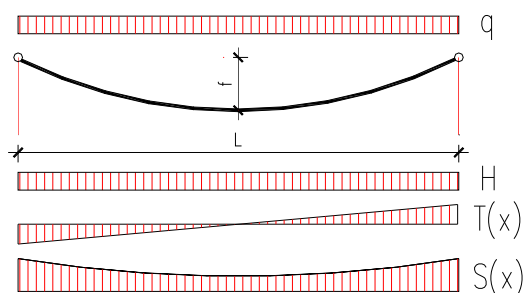
(d)



(e)

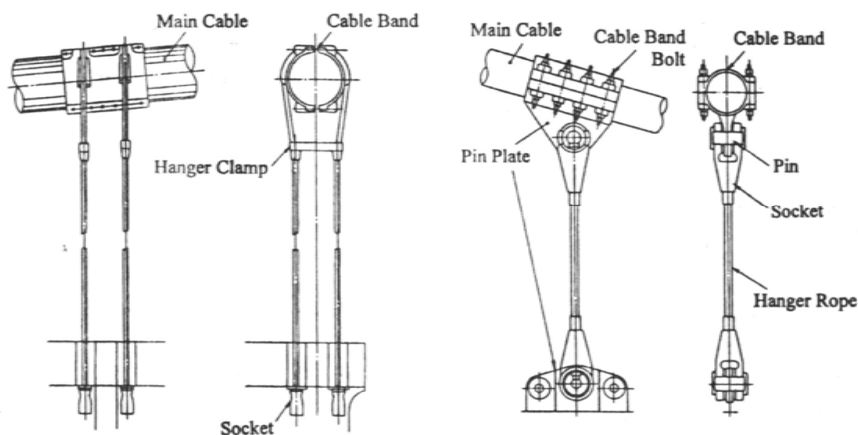
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA NOSIVO UŽE – OSNOVE STATIČKOG PRORAČUNA

- vertikalno opterećenje koje se preko vješaljki predaje užetu prenosi se po modelu lančanice
- statičke značajke užeta su raspon L i strelica (provjes) f
 - Uobičajeni odnos je: $f/L = (1/8 \text{ do } 1/10)$
- preliminarni izračun užeta određuje se iz izraza:
 - $H = (q \cdot L^2) / (8 \cdot f)$ - horizontalna komponenta sile u užetu
 - $S = H / \cos \alpha(x)$ - sila u pojedinom presjeku duž užeta
 - $A = S \max / \sigma$ - potrebna površina užeta



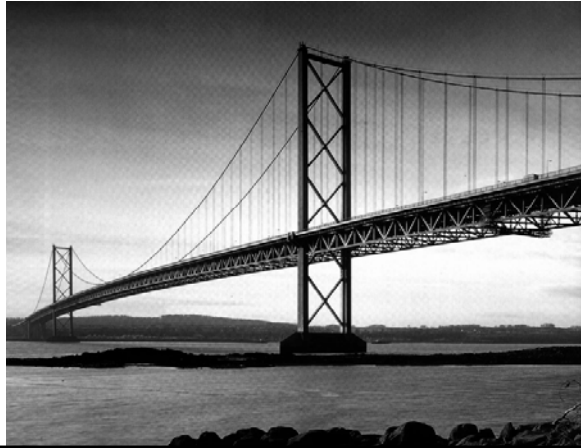
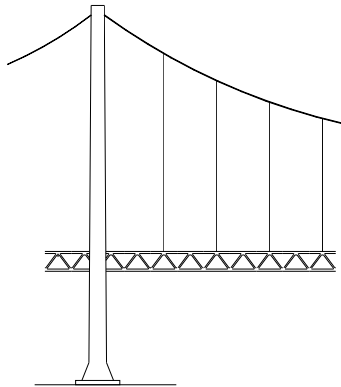
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA VJEŠALJKE

- izvode se od:
 - zatvorene spiralne užadi
 - spiralne užadi
 - punih okruglih profila
- na gredu za ukrućenje spajaju se preko trna ili sidrima
- na glavnu užad spajaju se pomoću obujmica



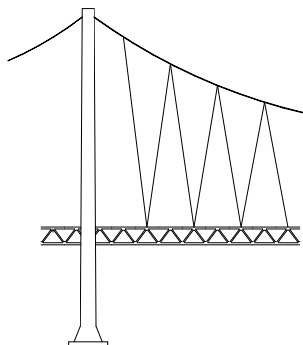
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA VJEŠALJKE – ZNAČAJKE RAZLIČITIH IZVEDBI

- vertikalnim vješaljka ostvaruju se:
 - jednostavniji statički sustav za gredu za ukrucenje
 - jednostavnija kontrolu geometrije i ostvarenih sila u vješaljka



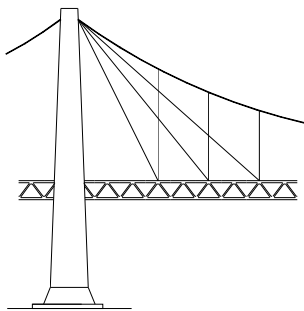
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA VJEŠALJKE – ZNAČAJKE RAZLIČITIH IZVEDBI

- dijagonalnim (kosim) vješaljka ostvaruje se:
 - veća krutost sustava formiranjem rešetke
 - veće prigušenje i bolja aerodinamička stabilnost
 - imaju veliku oscilaciju sile – osjetljive na zamor



DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA VJEŠALJKE – ZNAČAJKE RAZLIČITIH IZVEDBI

- kombiniranim sustavom ostvaruje se:
 - velika krutost grede za ukrućenje
 - manja osjetljivost na havarije



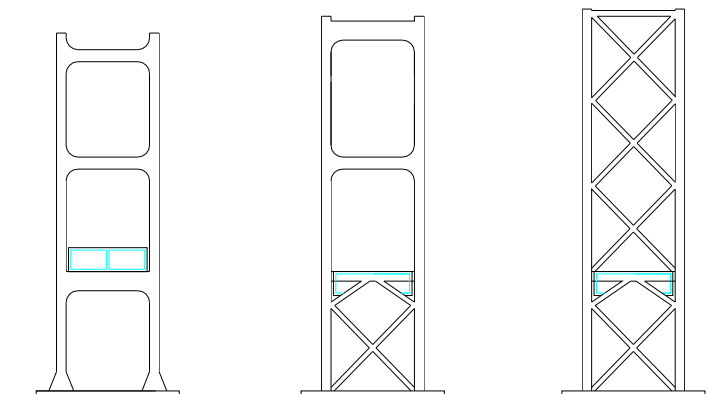
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA PILON

- pilon vertikalno opterećenje od užeta predaje na tlo
- visina pilona se određuje po izrazu: $H = H_0 + H_k + f$
 - H_0 - iz uvjeta visine plovnog profila (oko 50,0 m)
 - H_k - visina od donjeg ruba konstrukcije do užeta
 - f - strelica ($L/8$)



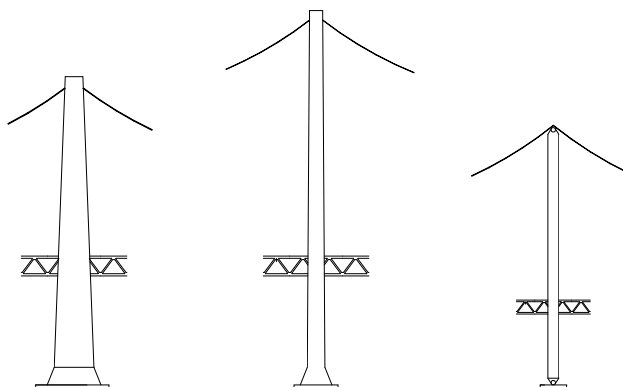
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA PILON

- u poprečnom smjeru pylon se može izvesti kao:
 - okvirni sustav
 - kombinirani sustav
 - rešetkasti sustav



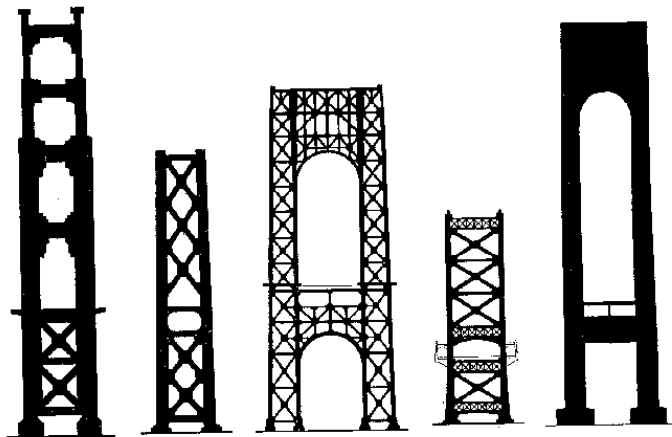
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA PILON

- u uzdužnom smjeru pylon se izvodi kao:
 - kruti konzolni stup
 - konzolni stup
 - pendl-stup



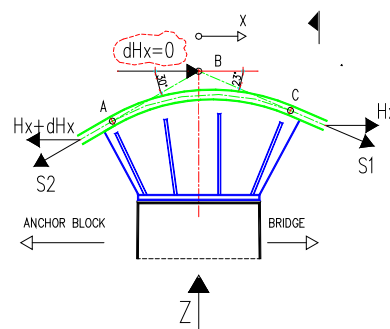
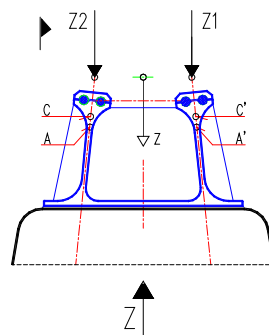
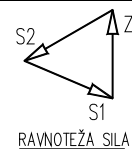
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA PILONI NEKIH AMERIČKIH MOSTOVA

- *Golden Gate*
- *San Francisco-Oakland*
- *G. Washington*
- *Delaware*
- *Verrazano*



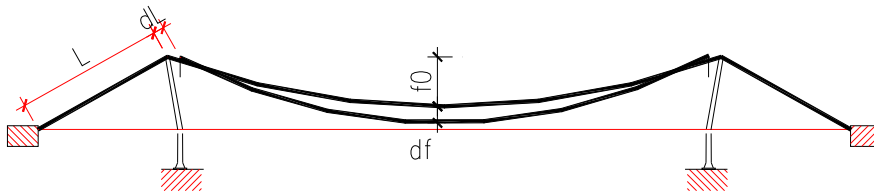
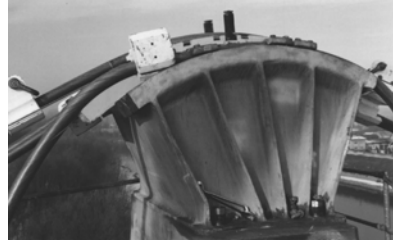
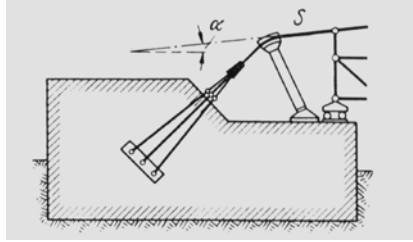
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA SILE NA VRHU PILONA

- suvremene izvedbe pilona ne omogućuju preuzimanje uzdužnih sila na vrhu pilona
- iz trokuta sila određuje se akcija na sedlo i vrh pilona
- mora se osigurati kompatibilnost sustava u fazi montaže i uporabe



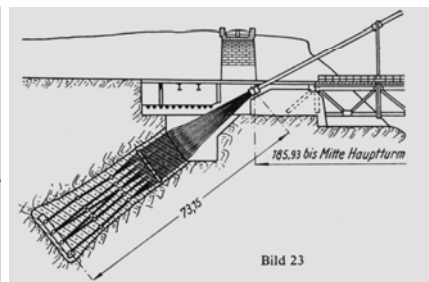
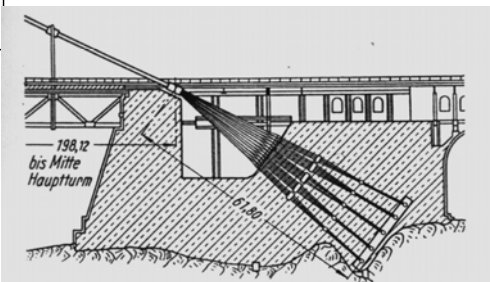
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA SEDLO U FAZI GRAĐENJA

- sedlo na vrhu pilona i/ili sedlo u zoni rasplitanja u sidrenom bloku
 - ostvaruju kompenzaciju duljine užeta između pilona i sidrenog bloka,
 - nastalu prirastom sile u užetu u fazi izvedbe grede za ukrućenje



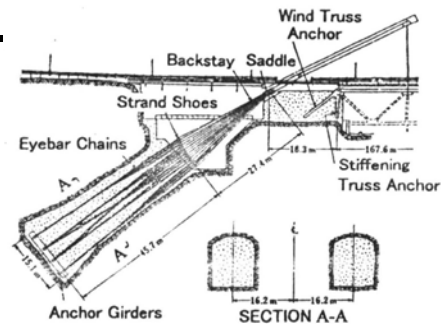
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA SIDRENA KONSTRUKCIJA

- Uobičajena je izvedba mostova sa sidrenjem užeta u sidreni blok (pravi viseći mostovi)
- Sidrena konstrukcija ima zadaću preuzeti vertikalnu i horizontalnu komponentu sile iz užeta
- Razlikujemo dvije grupe sidrenih konstrukcija:
 - gravitacijska sidrena konstrukcija
 - tunelska sidrena konstrukcija

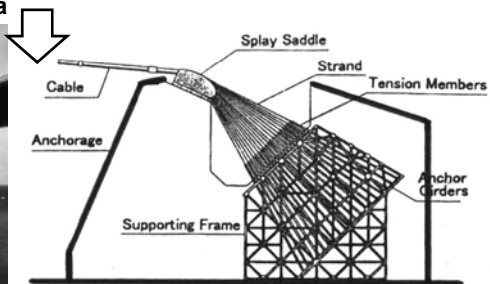


DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA SIDRENA KONSTRUKCIJA

- tunnelska sidrena konstrukcija



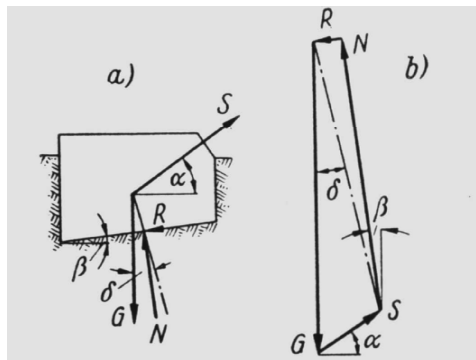
- gravitacijska sidrena konstrukcija



DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA UVJET STABILNOSTI SIDRENOG BLOKA

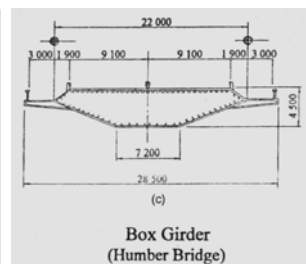
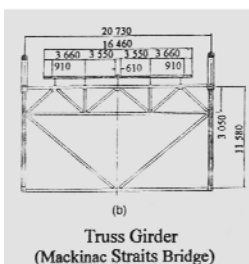
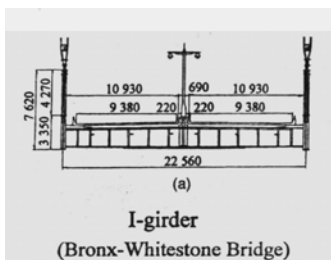
$$G = \nu S \left(\sin \alpha \frac{\cos \alpha}{\operatorname{tg} \gamma} \right) \quad \gamma = \beta + \rho$$

- G - potrebna težina sidrenog bloka
- S - sila u užetu
- ν - koeficijent sigurnosti za klizanje
- α - nagib užeta prema horizontali
- β - nagib donje plohe tla
- ρ - kut trenja



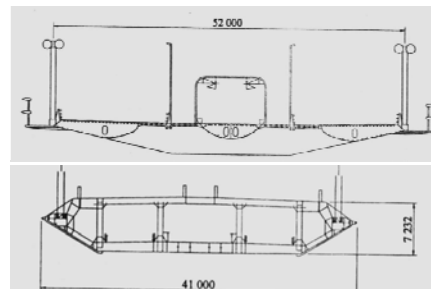
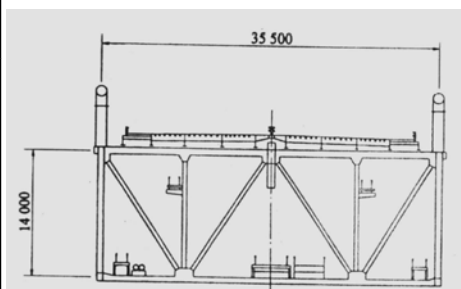
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA GREDA ZA UKRUĆENJE

- sadrži nosive elemente kolnika
- preuzima opterećenja od djelovanja prometnog opterećenja i predaje ih vješaljkama
- preuzima horizontalna opterećenja (vjetar, potres ...) i predaje ih pilonima i upornjacima
- Podjela greda za ukrućenje:
 - američki tip
 - europski tip

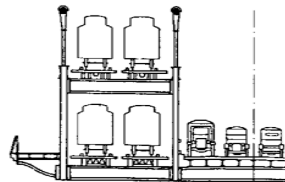


DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA AMERIČKI TIP ← GREDA ZA UKRUĆENJE → EUROPSKI TIP

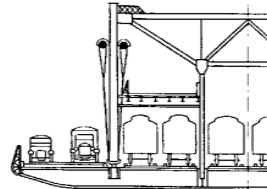
- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> □ spregovima prostorno stabilizirana rešetkasta konstrukcija □ visoka konstrukcija (H oko 10,0 i više metara) ima veliku krutost na savijanje □ nesimetrična opterećenja i vertikalne pobude preuzima visoka, kruta rešetka □ prikladna za promet na dva kata □ ekstremni oblik grede od punostijenih nosača pokazao se neuspješnim (<i>Tacoma</i>) | <ul style="list-style-type: none"> □ razvijen temeljem rezultata istraživanja aerodinamičke stabilnosti □ čini ga torzijski kruti aerodinamički oblikovani sanduk □ visina presjeka je otprilike 1/3 odgovarajuće rešetkaste grede □ nesimetrična opterećenja preuzimaju se torzijom |
|---|--|



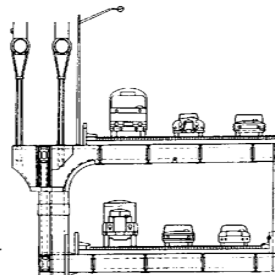
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA GRED ZA UKRUĆENJE – AMERIČKE IZVEDBE



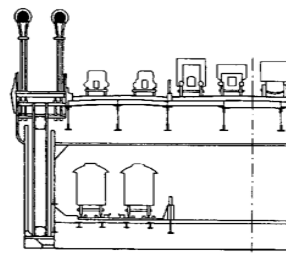
Manhattanbrücke, New York



Williamsburgbrücke, New York

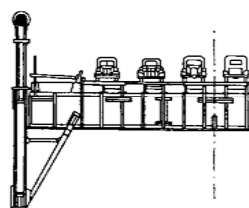


Narrowsbrücke, New York

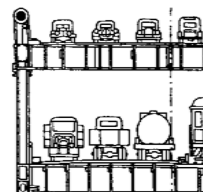


George-Washington-Brücke, New York

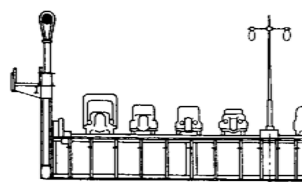
DETALJNIJE O KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA GRED ZA UKRUĆENJE – AMERIČKE IZVEDBE



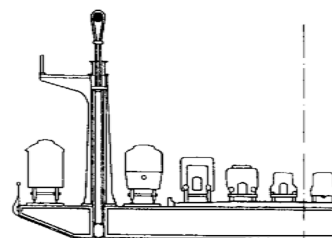
Golden-Gate-Brücke, San Franzisko



San Franzisko-Oakland-Bay-Brücke



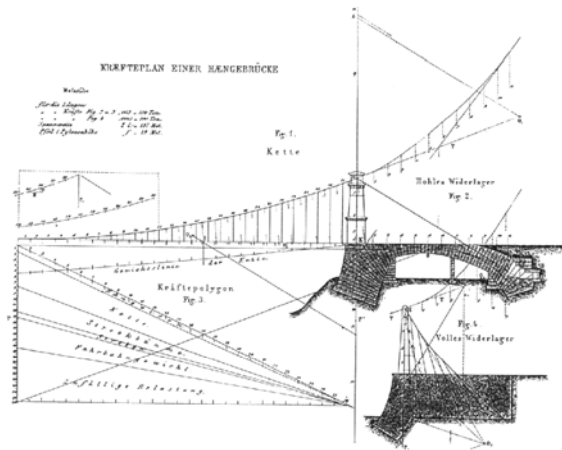
Triboroughbrücke, New York



Delawarebrücke

PRORAČUN KRATKI PREGLED

- ❑ Prvu teoriju za proračuna postavio je Navier 1823.
- ❑ Rankine uključuje u analizu gredu za ukrućenje 1858.
- ❑ Karl Culmann razvija grafičku statiku 1866.
- ❑ Teoriju II reda razvijaju: Ritter 1877., Levy 1886., Melan 1888.
- ❑ Vrhunac u razvoju teorije (ELASTIČNA TEORIJA) ostvario je Melan 1888.



PRORAČUN MELANOVA TEORIJA ELASTIČNOG ŠTAPA

- ❑ Vrhunac u razvoju teorije ostvario je Melan 1888. godine.
- ❑ Teorija se zasniva na proračunu kod kojeg se greda za ukrućenje ponaša kao elastičan štap
- ❑ Po ovoj teoriji proračunati su američki mostovi, a pretpostavke su:
 - Nosivo uže je element opisan samo aksijalnom krutošću,
 - Greda za ukrućenje je horizontalna i ravna, konstantne krutosti
 - Vlastita težina grede i užadi je jednoliko raspodijeljena,
 - Užad preuzima ukupnu vlastitu težinu



PRORAČUN PRETPOSTAVKE:

1. Ukupnu VT nosi sam kabel
2. Greda je kontinuirano ovješena (ne na diskretne vješaljke)
3. Piloni i vješaljke su nedeformabilni na uzdužne sile
4. Kabel je na pilonima udužno pomično oslonjen

- Prema pretpostavki 1. oblik kabla je za vlastitu težinu g parabola

- y pozitivno prema dolje
- H_g = horizontalni vlak u kabelu od g

$$y = \frac{g}{2H_g}x(l-x)$$

- Za f = provjes u sredini mosta slijedi:

$$g + H_g y'' = 0 \rightarrow H_g = \frac{g l^2}{8f}$$

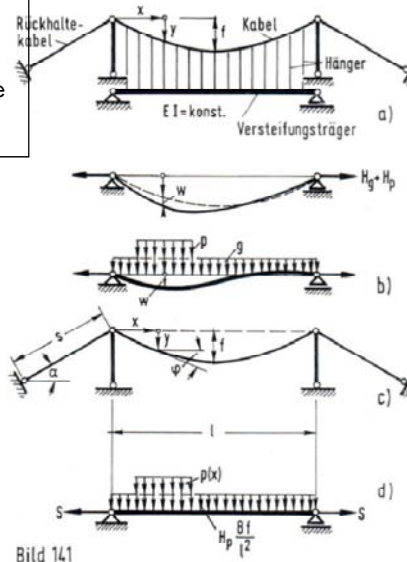


Bild 141

PRORAČUN PRETPOSTAVKE:

1. Ukupnu VT nosi sam kabel
2. Greda je kontinuirano ovješena (ne na diskretne vješaljke)
3. Piloni i vješaljke su nedeformabilni na uzdužne sile
4. Kabel je na pilonima udužno pomično oslonjen

- Za prometno opterećenje $p(x)$ i promjenu temperature t u gredi nastaju progibi $w(x)$, koji su prema pretpostavkama 2. i 3. jednaki vertikalnim pomacima kabla

- Pomacima $w(x)$ pridruženi su momenti savijanja $M(x)$ i poprečne sile $Q(x)$ u gredi

- Horizontalni vlak H_g raste za veličinu H_p na vrijednost

$$H = H_g + H_p$$

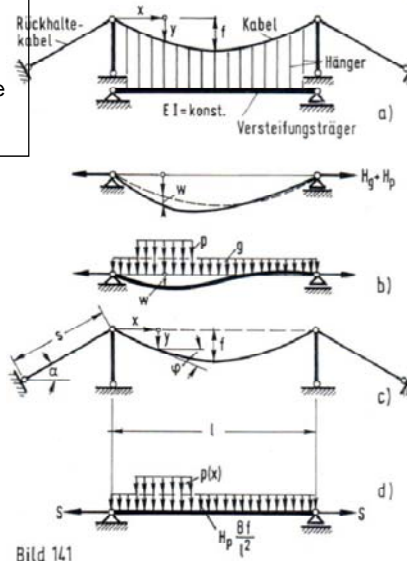


Bild 141

PRORAČUN

DIFERENCIJALNA JEDNADŽBA ZA ELEMENT KABELA

- Na gredu za ukrućenje djeluje kontinuirano opterećenje $q(x)$, koje se sastoji od $p(x)$ i $s(x)$, gdje je $s(x)$ prema gore djelujuće razmazano opterećenje sila u vješaljkama na m'

$$q(x) = p(x) - s(x)$$
- Na kabel opterećenje $s(x)$ djeluje kao kontinuirano opterećenje prema dolje.
- Za deformirani element kabela sukladno vrijedi diferencijalna jednačina:

$$g + s(x) + H[y''(x) + w''(x)] = 0 \rightarrow s(x) = -g - H[y''(x) + w''(x)]$$
- Gornja jednačina sadrži jednačine ravnoteže $\Sigma V=0$ i $\Sigma M=0$ na infinitezimalnom elementu dx kabela bez fleksijske krutosti.
- Rezultantna koordinata u deformiranom obliku iznosi: $y + w$

$$q(x) = g + p(x) + H \cdot y''(x) + H \cdot w''(x)$$
- Taj dio opterećenja ubacuje se u osnovnu jednačinu savijanja štapa (EI = krutost grede za ukrućenje)

$$EI w''''(x) - H w''(x) = p(x) + H_p \cdot y''(x)$$

PRORAČUN

JEDNADŽBA ZA GREDU ZA UKRUĆENJE

- Taj dio opterećenja ubacuje se u osnovnu jednačinu savijanja štapa (EI = krutost grede za ukrućenje)

$$EI w''''(x) - H w''(x) = p(x) + H_p \cdot y''(x)$$
- U gornjoj jednačini pretpostavljeno je da je
 1. $EI = \text{konst}$
 2. i zanemaren je doprinos posmičnih deformacija
- Prva pretpostavka se općenito ostvaruje konstrukcijskim oblikovanjem, a druga je zbog vitkosti grede zadovoljena.
- Jednačina predstavlja osnovnu jednačinu za gredu za ukrućenje pravih u tlo usidrenih visećih mostova.
- H_p je neodređena (i odgovara statički neodređenoj veličini X kod proračuna prema teoriji 1.reda).
- Diferencijalna jednačina se može riješiti, ako je poznata veličina H_p .
- Da se H_p može izračunati potreban je deformacijski uvjet, koji kaže: *Zbroj horizontalnih projekcija infinitezimalnih promjena duljine kabela je jednak nuli.*
- Drugim riječima razmak usidrenja kabela se ne mijenja.

ODREĐIVANJE H_P PREKO DEFORMACIJSKOG UVJETA

- Da se H_P može izračunati potreban je deformacijski uvjet, koji kaže: Zbroj horizontalnih projekcija infinitezimalnih promjena duljine kabela je jednak nuli.

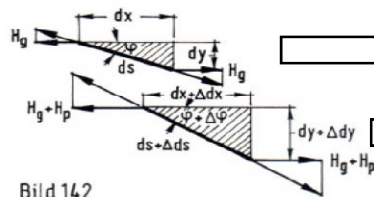


Bild 142

element kabela duljine ds u početnom stanju sa horizontalnom komponentom H_g

isti element produljen za Δds u deformiranom položaju sa horizontalnom komponentom $H = H_g + H_p$

- Promjena duljine uslijed prometnog opterećenja p i promjene temperature t iznosi:

$$\Delta ds \approx \frac{H_p}{\cos(\varphi + \Delta\varphi)} \frac{ds}{EA} + \alpha_t t ds \approx \frac{H_p}{\cos\varphi} \frac{ds}{EA} + \alpha_t t ds$$

$$(ds + \Delta ds)^2 = (dx + \Delta dx)^2 + (dy + \Delta dy)^2$$

$$dx \cdot \Delta ds = dx \cdot \Delta dx + dy \cdot \Delta dy \rightarrow \Delta dx = \Delta ds \frac{dx}{ds} - \Delta dy \frac{dy}{dx}$$

- Kako vrijedi: $\frac{dx}{ds} = \cos\varphi$; $\Delta dy \approx dw$

- horizontalno produljenje kabela iznosi:

$$\Delta dx = \frac{H_p}{\cos\varphi} \frac{ds}{EA} + \alpha_t t ds - dw \cdot y' \rightarrow \Delta dx = \frac{H_p}{EA \cos\varphi} dx + \frac{\alpha_t t}{\cos\varphi} dx - dw \cdot y'$$

ODREĐIVANJE H_P PREKO DEFORMACIJSKOG UVJETA

- Da se H_P može izračunati potreban je deformacijski uvjet, koji kaže: Zbroj horizontalnih projekcija infinitezimalnih promjena duljine kabela je jednak nuli.

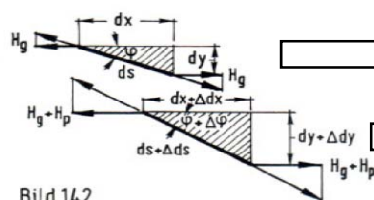


Bild 142

element kabela duljine ds u početnom stanju sa horizontalnom komponentom H_g

isti element produljen za Δds u deformiranom položaju sa horizontalnom komponentom $H = H_g + H_p$

- Integracija horizontalnog produljenja kabela uzduž cijele duljine l , od lijevog do desnog usidrenja i formuliranje deformacijskog uvjeta daje:

$$\int_0^l \Delta dx = 0 \rightarrow \frac{H_p}{EA} \int_0^l \frac{dx}{\cos^3\varphi} + \alpha_t t \int_0^l \frac{dx}{\cos^2\varphi} - \int_0^l w' \cdot y' dx = 0$$

- Zadnji član gornjeg izraza se parcijalno integrira: $\int_0^l w' \cdot y' dx = -y' \int_0^l w(x) dx$

- prvi član je zbog $w(0) = w(l) = 0$ jednak nuli,

- a $y'' = konst$, pa preostaje:

$$\int_0^l w' \cdot y' dx = w \cdot y' \Big|_0^l - \int_0^l w \cdot y'' dx$$

ODREĐIVANJE H_P PREKO DEFORMACIJSKOG UVJETA

- Da se H_P može izračunati potreban je deformacijski uvjet, koji kaže: Zbroj horizontalnih projekcija infinitezimalnih promjena duljine kabla je jednak nuli.

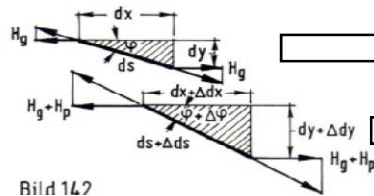


Bild 14.2

element kabla duljine ds u početnom stanju sa horizontalnom komponentom H_g

isti element produljen za Δds u deformiranom položaju sa horizontalnom komponentom $H = H_g + H_p$

- Integracija horizontalnog produljenja kabla uzduž cijele duljine l , od lijevog do desnog usidrenja i formuliranje deformacijskog uvjeta daje:

$$\int_0^l \Delta dx = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{H_p}{EA} \int_0^l \frac{dx}{\cos^3 \varphi} + \alpha_t t \int_0^l \frac{dx}{\cos^2 \varphi} - \int_0^l w' y' dx = 0$$

- S kraticama $L_k = \int_0^l \frac{dx}{\cos^3 \varphi}$, $L_t = \int_0^l \frac{dx}{\cos^2 \varphi}$ se iz gornje jednačbe dobiva

jednačba za određivanje vrijednosti H_p
$$H_p \frac{L_k}{EA} + \alpha_t t \cdot L_t + y'' \int_0^l w(x) dx = 0$$

ODREĐIVANJE H_P PREKO DEFORMACIJSKOG UVJETA

- Da se H_P može izračunati potreban je deformacijski uvjet, koji kaže: Zbroj horizontalnih projekcija infinitezimalnih promjena duljine kabla je jednak nuli.

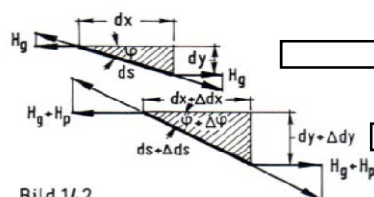


Bild 14.2

element kabla duljine ds u početnom stanju sa horizontalnom komponentom H_g

isti element produljen za Δds u deformiranom položaju sa horizontalnom komponentom $H = H_g + H_p$

- Značajke kabla L_k i L_t za osnovni sustav iznose:

$$L_k = l_1 \left[1 + 8 \left(\frac{f_1}{l_1} \right)^2 \right] + \frac{2s}{\cos^2 \alpha}; \quad L_t = l_1 \left[1 + \frac{16}{3} \left(\frac{f_1}{l_1} \right)^2 \right] + 2 \frac{2s}{\cos \alpha}$$

- Rješenje se traži rješavanjem diferencijalne jednačbe

$$EI w'''' - (H_g + H_p) w'' = p - H_p \frac{8f}{l^2}$$

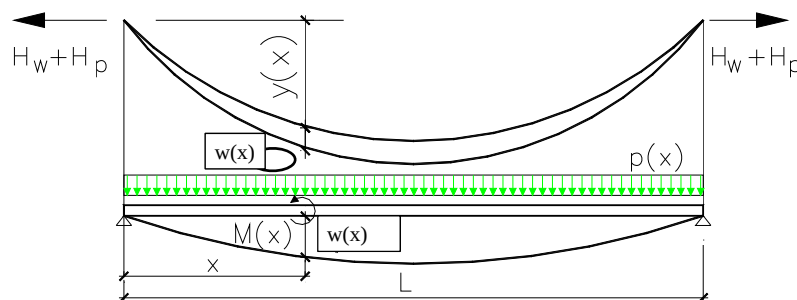
gdje se slobodne vrijednosti određuju iz rubnih uvjeta.

PRORAČUN

PRIMJENJUJE SE GEOMETRIJSKA NELINEARNOST

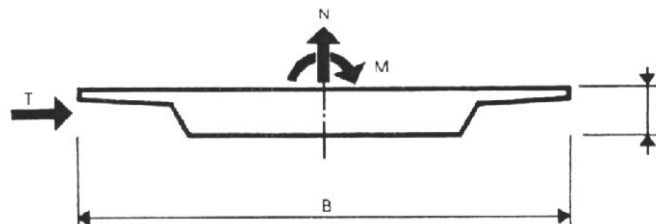
$$M(x) = M_o(x) - H_p y(x) - (H_w + H_p) w(x)$$

- $M_o(x)$ - moment savijanja od pokretnog opterećenja na gredi s rasponom između pilona
- H_w, H_p - vlačne sile u užetu od stalnog i pokretnog opterećenja
- $y(x)$ - ordinata kabela
- $w(x)$ - progib od pokretnog opterećenja



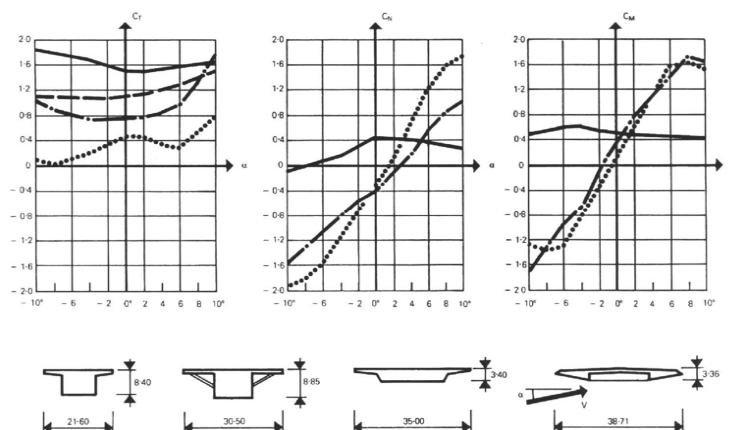
AERODINAMIČKA STABILNOST

- Sadrži spoznavanje odziva konstrukcije na strujanje zraka (vjetar)
- Kod visećih mostova kritičan je odziv grede za ukrućenje
- Strujanje zraka uzrokuje statičko i dinamičko djelovanje u sva tri oblika
 - Horizontalni potisak (*drag*): $T = C_T \cdot q_0 \cdot A$
 - Vertikalno odizanje (*lift*): $N = C_N \cdot q_0 \cdot A$
 - Torzijski moment: $M = C_M \cdot q_0 \cdot A$
- Utjecaj statičkog djelovanja vjetra prouzročuje bočne horizontalne pomake i savijanje oko uzdužne osi; to djelovanje se proračunava nazovi-statičkom analizom po uzoru na ostale konstrukcije.
- Odizanje i torzija nastaju kao interakcija pomicanja konstrukcije i djelovanja vjetra i ima izrazito dinamički karakter.



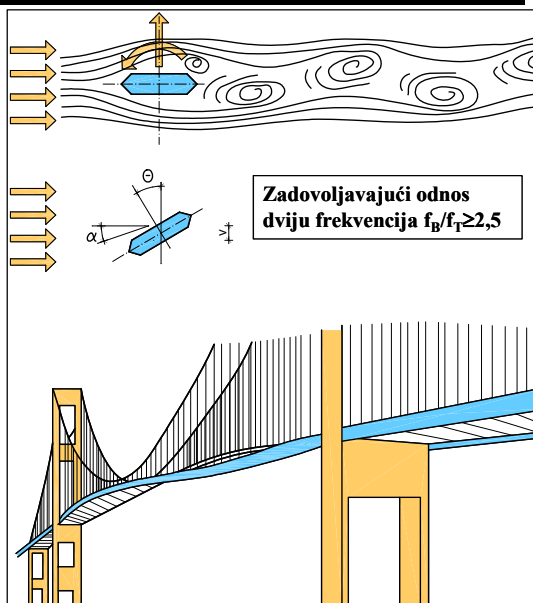
AERODINAMIČKA STABILNOST

- Intenzitet pojedinog djelovanja ovisi o:
 - brzini vjetra
 - napadnom kutu
 - obliku poprečnog presjeka



AERODINAMIČKA STABILNOST

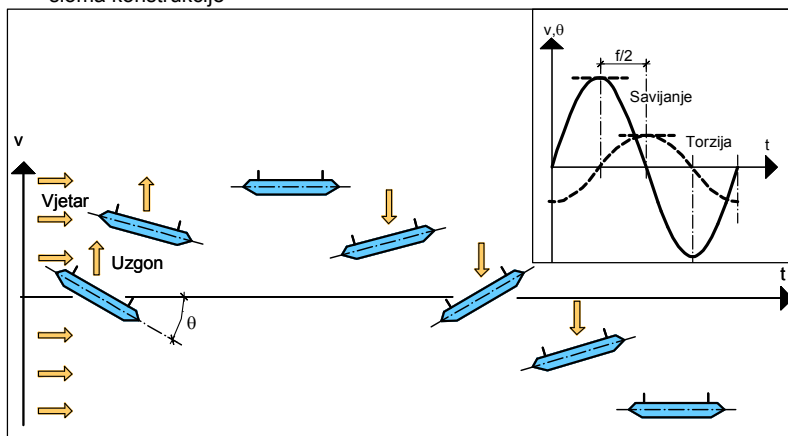
- Postoji strujanje kod kojeg dolazi do odvajanja vrtloga, kod čega su pomaci konstrukcije obično mali i ne zbrajaju se, ali mogu utjecati na sigurnost na zamor.
- Opasan oblik odziva konstrukcije na strujanje zraka je dinamička nestabilnost i titranje, tzv. treperenje (*flutter*).
- Flutter nastaje kada su:
 - savijajuća i torzijska vlastita frekvencija preniske
 - i preblizu jedna drugoj po vrijednosti



AERODINAMIČKA STABILNOST

□ Djelovanje fluttera na gredu mosta

- iznad određene brzine vjetra v_{crit} greda počinje primati veću energiju od one koju može disipirati prigušenjem.
- pojava savijajućih i torzijskih pomaka s naglim povećavanjem amplituda sve do sloma konstrukcije



AERODINAMIČKA STABILNOST

PREPORUKE ZA IZVEDBU GREDE ZA UKRUĆENJE:

□ Za osiguranje aerodinamičke stabilnosti O.H. Ammann daje izraz:

$$S = 1600 (g / f) + 160000 (I / t^4) > 600$$

- g težina mosta
- f provjes kabela
- I moment inercije grede za ukrućenje
- t = $L/100$
- L razmak piona

- (Za most Tacoma: $S=170$)

AERODINAMIČKA STABILNOST

OPĆE PREPORUKE ZA GREDE ZA UKRUĆENJE

	H / L = 1/170	B / L = 1/53	f / L = 1/9
Most	<i>Tacoma Narrows</i> (1940)	<i>Bronx-Whitestone</i> (1939)	<i>George Washington</i> (1931)
visina grede/ raspon	1:350 (1:86)	1:209 (1:91)	1:120 (1:89)
širina/ glavni raspon	1:72	1:31	1:33
bočni raspon/ glavni raspon	1:2,6	1:3,1	1:5,6

Napomena: Odnosi visina / raspon u zagradi su za most Bronx-Whitestone nakon dodavanja rešetke, a za most George Washington nakon izvedbe donjeg kolnika, a za most Tacoma za novu konstrukciju s rešetkastom konstrukcijom za ukrućenje.

HRVATSKI VISEĆI MOSTOVI

- ❑ Ne postoji potreba za visećim mostovima velikih raspona.
- ❑ Primjenjivi u posebnim okolnostima.
- ❑ Dva suvremeno koncipirana pješačka mosta:
 - Most preko Drave u Osijeku, l= 209,0 m, (1980)
 - Most preko Save u Martinskoj Vesi, L=145,0m (2002)
- ❑ Obnova jednog starog pješačkog mosta:
 - Most preko Drave kod Križnice (Pitomače), L=164,0m (1967)

HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Drave u Osijeku, (1980)

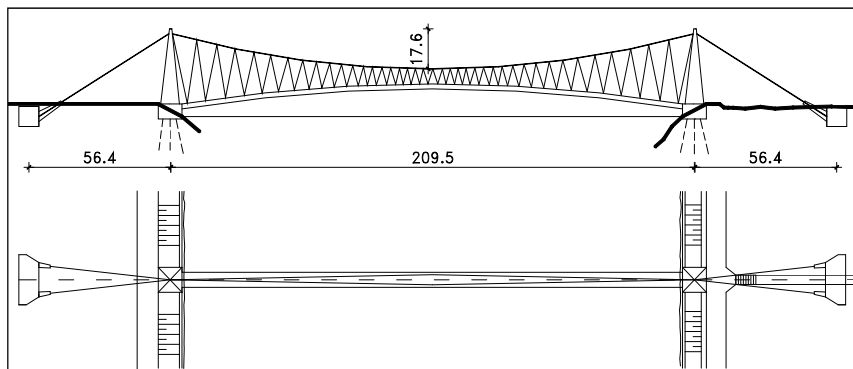
- projektant Branimir Tripalo
- Prepoznatljivi simbol grada Osijeka



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Drave u Osijeku, (1980)

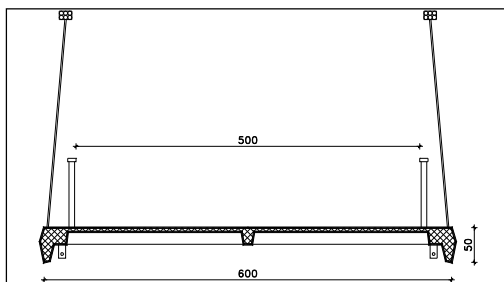
- $L = 209.5$ m, f lančanice $= 17.9$ m, $L/f = 11.7$
- Oštećen u Domovinskom ratu



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Drave u Osijeku, (1980)

- Čelični piloni
- montažna kolnička ploča
- prednapeta lančanica



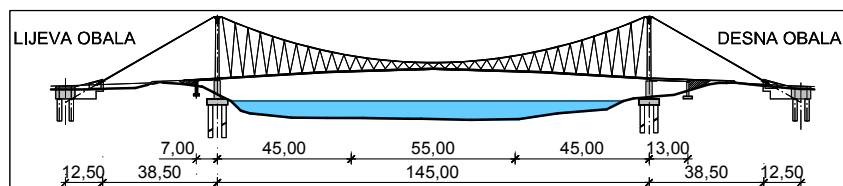
HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Save u Martinskoj Vesi, (2002)

- projektant mr.sc. Z. Šavor



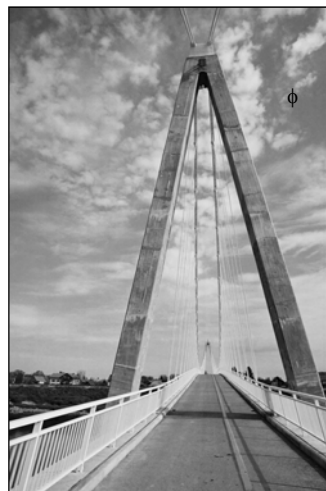
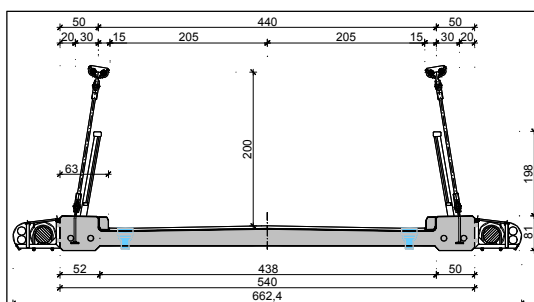
- Rješenje s najmanjom konstruktivnom visinom i najmanjim radovima u koritu → viseći most s kosim vješaljkama, $L/f = 9,06$, $f=16$ m



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Save u Martinskoj Vesi, (2002)

- Glavni kabeli zatvorena spiralna užad, od 4 užeta ϕ 80 mm, preko pilona sedlom, sidrenje u bet. blokove.
- Betonski A piloni, upeti u donji masivni dio, preko naglavnice na 6 pilota ϕ 1,50 m.
- Greda za ukrućenje je od predgotovljenih betonskih el. $h=32\text{cm}$; $L/h=322$; $L/b=26,8$; uzdužno prednapinjanje s 4 kabela – tlak 5N/mm^2
- Krutost sustava – kose vješaljke punog profila 36 mm , $2/4,0\text{ m}$
- Pješački promet 4 kN/m^2 (5), teško vozilo 12 t



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Save u Martinskoj Vesi, (2002) - izvedba

- Temeljenje na 12 bušenih pilota
- izvedba građevne jame iznad razine podzemnih voda



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Save u Martinskoj Vesi, (2002) - izvedba

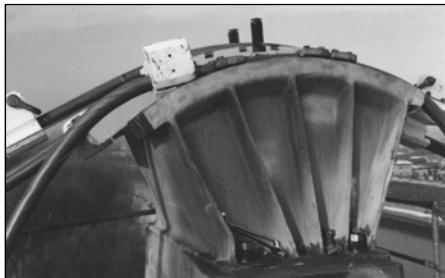
- Masivni bazni dijelovi pilona izvedeni su u fiksnoj oplati.
- Noge pilona u kombiniranoj izvedbi:
 - na unutarnjem dijelu između dviju zakošenih nogu postavljena skela od čeličnih cijevnih elemenata.
 - Izvedba kosih stupova ostvarena je u podiznoj skeli za ostale tri plohe. Odsječci $h=4,0$ m.



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Save u Martinskoj Vesi, (2002) - izvedba

- Sedla od lijevanog čelika montirana autodizalicom
- ugrađeni pomoćni kotrljajući ležajevi preko kojih je prevučeno pomoćno (vučno) uže, a zatim i 4 glavna nosiva užeta
- užad je primjenom preša učvršćena u sidrene komore
- višekratnim dotezanjem ostvarena je konačna geometrija užadi zbog vertikalnosti pilona.



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Save u Martinskoj Vesi, (2002) - izvedba

- Montaža vješaljki i kolničke konstrukcije ostvarena je primjenom pomoćne žičane dizalice – kabel-krana (segmenti $l=4,0$ m i $m=13,0$ t)



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Save u Martinskoj Vesi, (2002) - izvedba

- Reške širine 0,4m – kontinuitet zavarivanjem armature – betoniranje ($0,54\text{m}^3$) nakon montaže svih 37 odsječaka kolničke grede.
- Prednapeti uzdužni kabeli u gredi.
- Konačna geometrija mosta ostvarena je reguliranjem duljine vješaljki.



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Drave kod Pitomače, (1967)

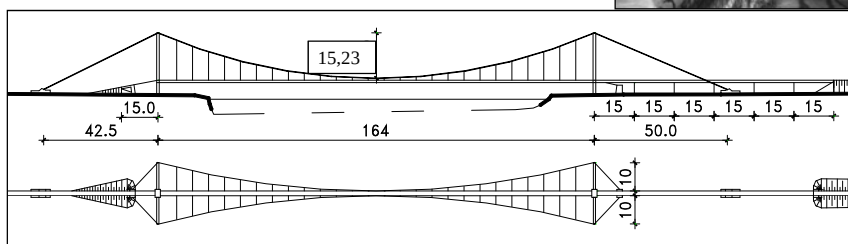
- projektant dr.sc. Matej Meštrić



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Drave kod Pitomače, (1967)

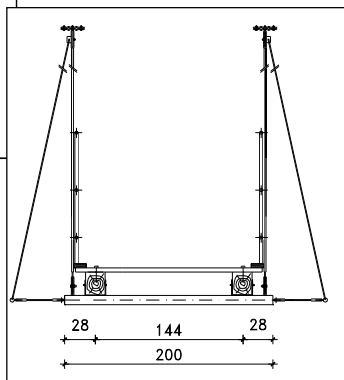
- $L=164$ m, f lančanice = 15.23 m, $L/f = 10.8$
- Glavna nosiva užad od po 2 Φ 40mm
- vertikalne vješaljke, bet. čelik Φ 18mm
- rešetkasti poprečni nosači



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Drave kod Pitomače, (1967)

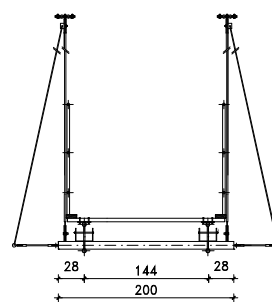
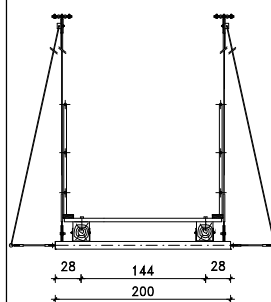
- uzdužni nosači od drvenih greda 18x20 cm
- pomost od drvenih platica
- horizontalni vjetrovni spreg
 - gl. uže Φ 25mm,
 - kosa i horiz. užad Φ 10mm



HRVATSKI VISECI MOSTOVI

Most preko Drave kod Pitomače, (1967) – obnova (1994)

- zamjena dotrajale ograde,
- glavne drvene uzdužne grede zamijenjene s rešetkastim "R" nosačima,
- zamjena drvenih platica,
- zamjena užadi vjetrovnog sprega koja je tijekom Domovinskog rata bila oštećena
 - od ϕ 10 na ϕ 12 mm,
 - odnosno od ϕ 25 na ϕ 30 mm.



LITERATURA

- 1) Horvatić, D.; Šavor, Z.: *Metalni mostovi*, HDGK Zagreb, Zagreb 1998.
- 2) *Stahlbau, Handbuch für Studium und Praxis, Band 2*, Stahlbau-Verlags-GmbH, 1964.
- 3) Petersen, Ch.: *Stahlbau*, F. Vieweg & Sohn, Braunschweig / Wiesbaden, 1988.
- 4) Chen, Wai-Fah; Duan, Lian: *Bridge Engineering Handbook*, CRC Press, 2000.
- 5) Rasthofer, D.: *Six Bridges: The Legacy of Othmar H. Ammann*, Yale University Press, New Haven and London, 2000.
- 6) *Forth Road Bridge*, Institute of Civil Engineers, London, 1967.

SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE SLJEDEĆE PREDAVANJE

--	--	--

Ljuske