

# IZVEDBA ZAVJEŠENIH MOSTOVA

Zlatko Šavor

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 0. Uvod

- troškovi izvedbe i montaže zavješanih mostova značajno doprinose ukupnim troškovima i sadašnji trendovi su da se rabe segmenti veliki koliko je to moguće, da se pojednostavi montaža
- ako se radi o čeličnom zavješanom rasponskom sklopu velike sekcije sastoje se u radionici, što je mnogo sigurnije od sastavljanja više malih segmenata na opasno izloženom mjestu izvedbe.
- time se jednako tako smanjuje potencijalno neugodni utjecaj okoliša, jer se montira manje sekcija g. p.K.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 0. Uvod

- tehnologije i postupci izvedbe zavješanih mostova su različiti i ima ih veoma mnogo, ovisno o sposobnostima izvođača
- svaki izvođač obično koristi svoju vlastitu tehnologiju izvedbe i montaže
- projektanti predlažu postupak montaže u tender-dokumentaciji, a odabrani izvođač ga može i ne mora prihvatiti
- ako ponudi različiti postupak, uobičajeno je da ga prije početka gradnje projektant mora odobriti
- odobrenje je neophodno, jer postupak gradnje ne utječe samo na naprezanja tijekom gradnje, već može promijeniti i naprezanja u gotovoj konstrukciji
- projektanti moraju provjeriti da li su konačna raspodjela naprezanja i geometrija gotovog mosta sukladna njihovom konceptu i proračunima



## 0. Uvod

Postupci izvedbe zavješanih mostova mogu se načelno svrstati u tri opća postupka:

- ☐ *izvedba na pomoćnim stupovima*
- ☐ *izvedba uzdužnim potiskivanjem*
- ☐ *konzolna gradnja*

Prvo se daje opći opis pojedinog postupka izvedbe, a zatim se detaljnije pojašnjava na primjerima izvedenih mostova.



## 0. Uvod

*Izvedba na pomoćnim stupovima se najčešće koristi kad je niveleta mosta nisko nad terenom i kad pomoćni stupovi ne smetaju eventualnom prometu ispod mosta ili ostalim sadržajima.*

Prednost ovog postupka je točnost u ostvarenju propisane geometrije i relativno mala cijena, ako se radi o niveleti vrlo nisko nad terenom (mali pomoćni stupovi).

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 0. Uvod

*Uzdužno potiskivanje koristi se kada bi ugradba pomoćnih stupova smetala sadržajima ili prometu ispod mosta i u slučajevima kada je konzolna gradnja nepraktična.*

Kod tog postupka dugi segmenti mosta potiskuju se preko stupova na kojima su postavljene klizajući teflonski ležajevi.

Rasponski sklop se potiskuje s oba upornjaka prema sredini mosta ili ponekad s jednog upornjaka sve do drugog upornjaka. Postupak se koristi i za horizontalno zakrivljene mostove.

Alternativa ovog postupka korištena je kod postavljanja u konačni položaj mosta Oberkassel u Njemačkoj, tako da je gotov most bočno povučen za 47,5 m.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 0. Uvod

Općenito najčešće korišteni postupak izvedbe zavješanih mostova je *konzolna gradnja*.

Kod tog postupka najočitije se komparativne prednosti ovog sustava, jer se kose zatege potrebne u gradnji, koriste i za gotov most, što primjerice nije slučaj kod izvedbe lučnih mostova.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

(a) *Most Maxau (1966) preko rijeke Rajne, Maxau, Njemačka:*

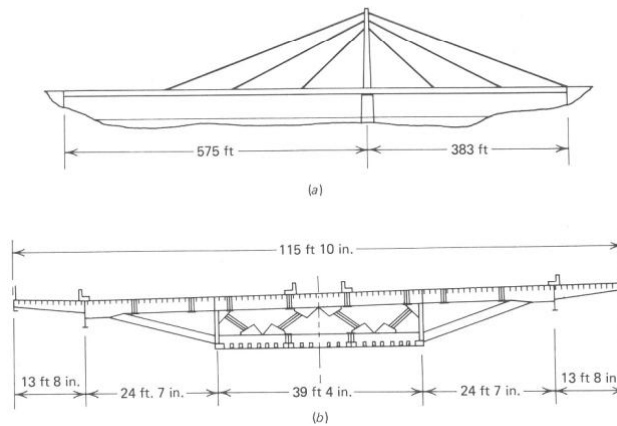
- To je prvi nesimetrični izvedeni zavješeni most s centralnim ovješanjem i sandučastim čeličnim rasponskim sklopom, preko dva raspona 175+117 m s jednim pilonom visine 43 m iznad ravnine kolnika.
- Tri zatege su lepezastog oblika, provedene preko sedala kontinuirano preko pilona.
- Gornje sedlo se može pomicati u uzdužnom smjeru, a srednje i donje sedlo su fiksna.
- Pilon je upet u gredu, a ispod je smješten ležaj.
- Ukupna širina mosta iznosi 35,4 m, od čega 12 m otpada na centralno smješteni torzijski kruti sanduk, prosječne visine 3,0 m, a ostali dio na obostrane konzole  $L=11,65$  m.
- Rubni uzdužni nosači korišteni su kod proračuna za povoljniju poprečnu raspodjelu opterećenja.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

Sl.1-2: Most *Maxau* preko Rajne - uzdužni i poprečni presjek



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

U prvoj fazi montiran je čelični rasponski sklop.

Montaža je počela s jednog upornjaka na dva pomoćna stupišta i nastavljena kratkim konzolnim prepuštanjem s osloncima na privremenom stupu u rijeci i stupu pilona.

Segmenti su bili duljine od 20 m i težine do 25 t.

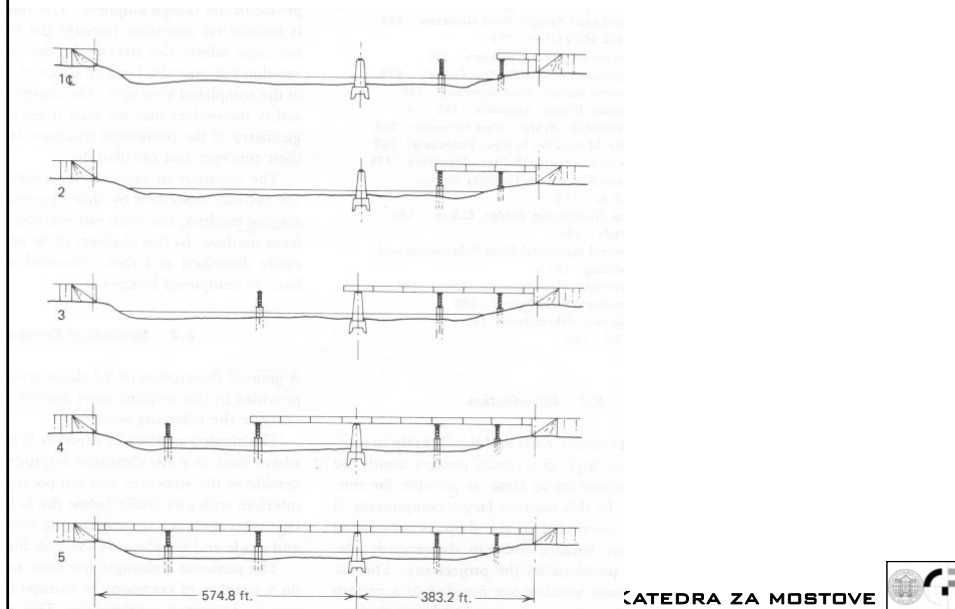
Montirani su derrick-kranom koji se kretao po tračnicama postavljenim na već izvedeni dio rasponskog sklopa.

U plovnom kanalu izvedena su dva pomoćna stupišta u trećinama plovnog kanala.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 1. Izvedba na pomoćnim stupovima



### 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

Nakon dovršetka izvedbe grede počela je montaža pilona. Pilon poprečnog presjeka  $2 \times 3$  m montiran je u 9 segmenata pojedinačne težine od oko 4 t.

U trećoj fazi podignuta su sedla na pilonu za unošenje prednapona u zatege do propisane vlačne sile da bi se ostvarila projektirana geometrija i zatim su uklonjeni pomoćni stupovi.



## 1. Izvedba na pomoćnim stupovima



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

(b) Most Toyosato-Ohashi (1970), Osaka, Japan

Most Toyosato sagrađen je na prijelazu autoceste Shinjo Yamatogava preko rijeke Yodo, u okviru javnih radova za Expo 70.

Kose zatege lepezastog oblika smještene su centralno u jednoj ravlini, pylon je okvirnog A-tipa, a zavješeni rasponski sklop je trapezasti čelični sanduk.

Kose zatege su sastavljene od predgotovljenih paralelnih strukova.

Gornje zatege čini 16 strukova sa po 154 žice  $\varnothing 5$  mm, a donje zatege 12 strukova po 127 žica.

Svaki struk načinjen je od paralelnih žica skupljenih u heksagonalni oblik.

Strukovi u pojedinoj zatezi su skupljeni u kružni oblik  $\varnothing 280$  mm za

gornje kose zatege i  $\varnothing 220$  mm za donje zatege.

Žice su pocinčane i dodatno zaštićene omatanjem sintetičkim ljepljivom.

Kose zatege prelaze preko pilona kontinuirano preko sedala.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

Sidrenje zatega u gredu proračunato je trodimenzionalnom analizom konačnim elementima i provjereno modelskim ispitivanjima.

Piloni A-oblika su visine 34,87 m, mjereno od stupa.

U uzdužnom smjeru zglobno su priključeni na stup, a u poprečnom smjeru upeti, projektirani tako da mogu preuzeti seizmička djelovanja.

Simetrični kontinuirani rasponski sklop preko tri raspona

$L=80,5+216,0+80,5$  m je čelični sanduk trapeznog oblika.

Širina sanduka kod gornjeg pojasa je 10,5 m, a kod donjeg pojasa 7,0 m, dok je visina nepromjenjiva i iznosi 3,0 m (1/72 glavnog raspona).

Poprečni nosači ortotropne kolničke ploče na razmaku od 1,8 m konzolno su istaknuti od sanduka za 4,7 m, tako da ukupna širina mosta iznosi 28,0 m.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

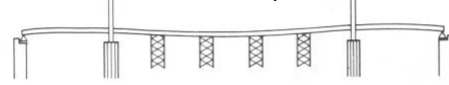


ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE

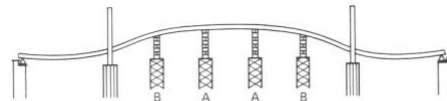


Zavješeni rasponski sklop montiran je na pomoćnim stupovima.

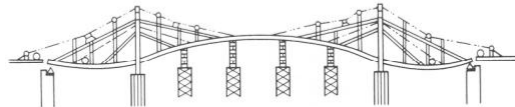
### 1. Izvedba na pomoćnim stupovima



1. Installation of main girder and tower



2. Jack up (Point A = 140 cm, point B = 85 cm)



3. Installation of cables



4. Jacks were released

ZAVI



Uzdužni montažni nastavci kolničke ploče izvedeni su zavarivanjem, a poprečni spojevi visokovrijednim prednapetim vijcima.

Kose noge A-pilona montirane su neovisno i zatim spojene poprečnom gredom za oslanjanje donjeg sedla.

Zavješeni rasponski sklop prešama nad pomoćnim osloncima podignut je u položaj, koji je omogućio ugradbu svih zatega, zatim su preše otpuštene i uklonjeni pomoćni oslonci.

### 1. Izvedba na pomoćnim stupovima



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

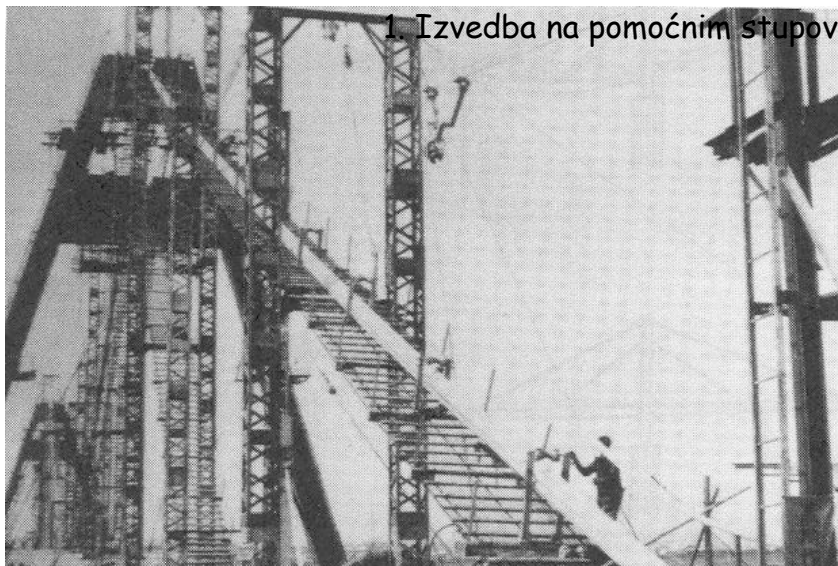
Za montažu kosih zatega na gredi su postavljena su pomoćna stupišta na razmaku od oko 20 m i preko njih staza od grede do pilona.

Na stazi su ugrađeni „roleri“ za privremeno oslanjanje strukova zatega, dok se nije ugradila naprava za povlačenje strukova, koja je prihvatila struk, izvukla ga s iz namotaja u povukla preko „rolera“ u konačni položaj.

Za izbjegavanje naprezanja od savijanja u strukovima kod prelaska preko sedla strukovi su predgotovljeni s zakrivljenosti koja odgovara zakrivljenosti sedla (tzv. „zakrivljeni strukovi“).

Nakon prilagodbe zatega za provjes, zatege su skupljene u kružni oblik tehnologijom, sličnom onoj kod konvencionalnih visećih mostova.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 1. Izvedba na pomoćnim stupovima

*Most Toyosato - montaža kosih zatega*

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

Most *Jülicherstrasse* (1963), Düsseldorf, Njemačka

Most *Jülicherstrasse* prevodi autocestu preko željezničkih instalacija (6 elektificiranih kolosjeka i komandni prostor) u urbanom dijelu Düsseldorf-a.

Most je simetričan preko tri raspona  $L=31,8+98,7+31,8$  m. Prometni profil čine obostrane pješačke staze širine po 3,1 m, zaštitni trakovi po 1,6 m, dva kolnika širine po 7,5 m, razdijeljeni srednjim pojasom od 2,0 m, tako da ukupna širina mosta iznosi 26,4 m.

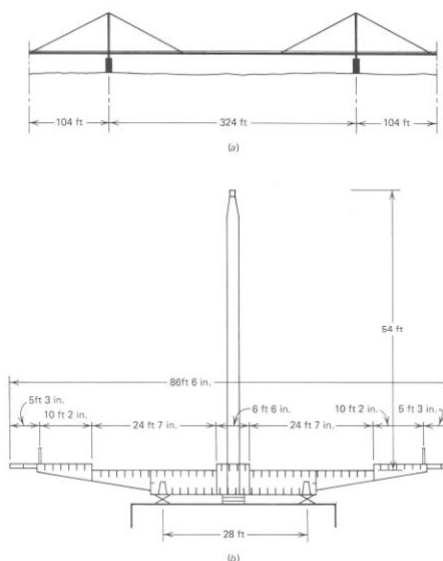
Poprečni presjek rasponskog sklopa je središnji tročelijasti čelični sanduk sa obostranim konzolama, širine od 9,85 m i nepromjenjive visine od 1,4 m (1/70 glavnog raspona).

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

Most *Jülicherstrasse* - uzdužni i poprečni presjek



ZAVOD ZA



## 2. Uzdužno potiskivanje

Poprečni nosači na razmaku 2,1-2,3 m, konzolno istaknuti od sanduka.

Čelični pilon je sandučastog poprečnog presjeka, visine 16,5 m.

Ukupna težina čelika iznosi 307 kg/m<sup>2</sup> površine mosta.

Problem montaže bio je u tome da se željeznički promet nije smio prekidati.

Kao najprikladniji postupak montaže odabrano je uzdužno potiskivanje.

Iako taj postupak nije bio nov, to je bila prva primjena kod zavješanih mostova, kao i prva primjena teflonskih kliznih ležajeva kod potiskivanja.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje



## 2. Uzdužno potiskivanje



MOSTOVE



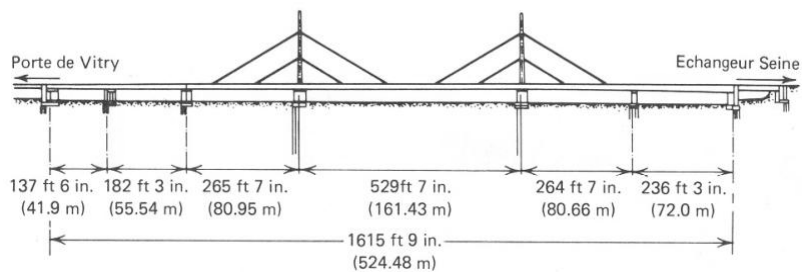
## 2. Uzdužno potiskivanje

Most *Masséna* (1969), Pariz, Francuska

Most *Masséna* premošćuje 73 kolosjeka blizu postaje Austerlitz.

Ukupna duljina mosta iznosi 528,48 m sa šest raspona

$L=41,9+55,54+80,95+161,43+80,66+72,0 \text{ m}$



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



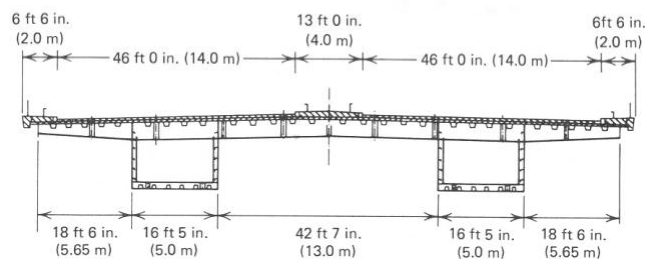
## 2. Uzdužno potiskivanje

Ukupna širina mosta iznosi 36 m, a čine je dva kolnika po 14 m, dvije pješačke staze po 2 m i središnji pojas od 4 m.

Kose zatege su u jednoj vertikalnoj ravnini (centralno ovješeno), a potisak se prenosi na dva uzdužna glavna nosača.

Glavni nosači su visine 4 m i širine 5 m, smješteni na osnom razmaku od 18 m.

Kolničku ploču zavješeno dijela rasponskog sklopa čini čelična ortotropna ploča spregnuta sa AB pločom debljine 10 cm, dok je kolnička ploča na preostalom dijelu mosta 22 cm debela AB ploča.



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



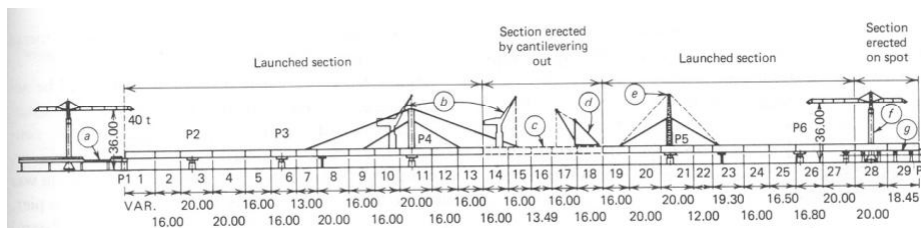
## 2. Uzdužno potiskivanje

Piloni su čelični promjenjivog presjeka, kruto spojeni s poprečnim nosačima između glavnih nosača i oslonjeni na stupove pomoću kalotnih (sfernih) ležajeva.

Most je najvećim dijelom izveden postupkom uzdužnog potiskivanja.

Segmenti su potiskivani sa oba upornjaka dok nisu bili konzolno prepušteni od pilona u glavni otvor za 45 m.

Upasni segment montiran je konzolnim postupkom.

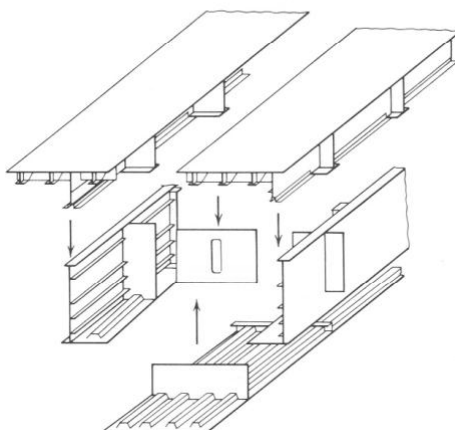


ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

Segmenti duljine 16 ili 20 m okrupnjeni su na radnim platformama od 5 radioničkih komada.

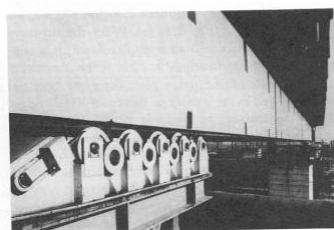


ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

Nakon spajanja tri segmenta na radnoj platformi, oni su bili potisnuti preko kolica s valjcima.



Dva sandučasta nosača potisnuta su neovisno.

Nakon završetka postupka potiskivanja nosači su oslonjeni na definitivne ležajeve.

Preostali dijelovi rasponskog sklopa i piloni montirani su kranovima.

Upasni komad montiran je derrick-kranom.

Kose zatege su montirane struk po struk.

Nakon sidrenja gornje zatege u rasponski sklop, prednapon u njoj je prilagođen montaži završnog (upasnog) segmenta.

Sedla na teleskopskim osloncima su prešama podignuta, čime se u zatege unijela konačna sila prednapona.

Za donje zatege bilo je potrebno 6 preša od po 300 t nosivosti s hodom od 0,5 m, a za gornje zatege 4 preše od 500 t nosivosti s hodom od 1,0 m.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE

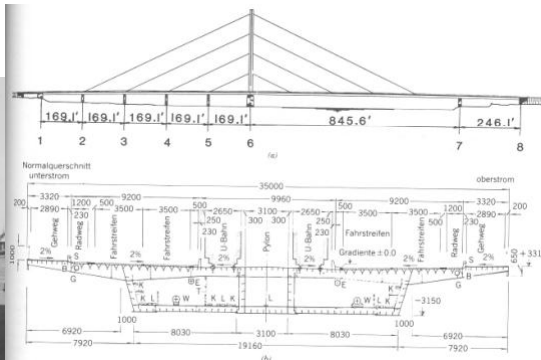


## 2. Uzdužno potiskivanje

Most *Düsseldorf-Oberkassel* (1976) preko rijeke Rajne,  
Düsseldorf, Njemačka

Most *Düsseldorf-Oberkassel* izveden je kao zamjena za uski rešetkasti most sagrađen nakon II. svjetskog rata.

Most je asimetričan s jednim pilnom i centralnim ovješanjem (jedna ravnina zatega). Glavni raspon preko Rajne iznosi 257,75 m, a u postranom otvoru sidreni rasponi iznose  $5 \times 51,55$  m, tako da je ukupna duljina mosta 590,5 m.



## 2. Uzdužno potiskivanje

Sidrene zatege vezane su na stupove zglobnim vezama (pendel štapovi za preuzimanje vlaka od prometa u glavnom otvoru), a preko pilona zatege prelaze kontinuirano preko sedala.

Konstruktivni sustav sličan je mostu Knie.

Ukupna širina mosta je 35 m, a sastoji se od tramvajske pruge u sredini i obostrano po dva cestovna traka, biciklističke i pješačke staze (Sl.2-9 b).

Visina čeličnog sanduka iznosi 3,15 m (1/82 glavnog raspona). Pilon je visine 100 m iznad gornje plohe kolnika.



## 2. Uzdužno potiskivanje

Glavni problem montaže bio je da se most nije mogao sagraditi na konačnoj lokaciji zbog postojećeg rešetkastog mosta, a nikakva druga lokacija nije dolazila u obzir zbog guste naseljenosti na obje obale Rajne, a promet preko starog mosta nije se smio prekidati.

Novi most je sagrađen 47,5 m uzvodno i paralelno translatiran na pravu lokaciju nakon uklanjanja rešetkastog mosta.

Za stalna djelovanja od vlastite težine most je u ravnoteži i pendel-štapovi ne preuzimaju nikakvu silu, te su za vrijeme translacije mogli biti otpušteni.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje



ZAVOD

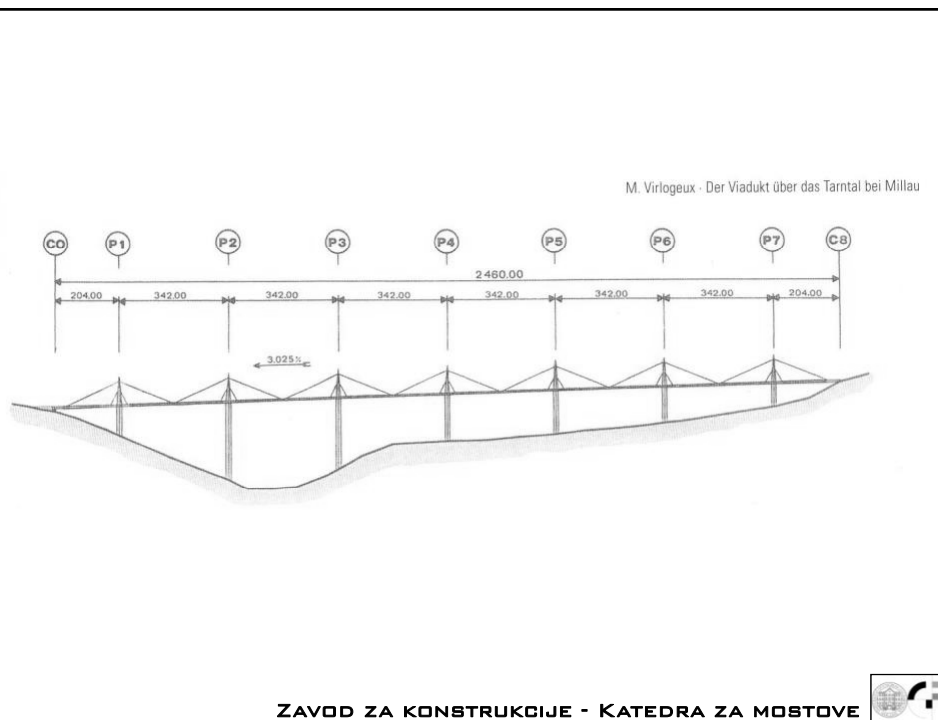
# Vijadukt Millau, Francuska, 2004

Millau

Rasponi: 204+6x342+204 m

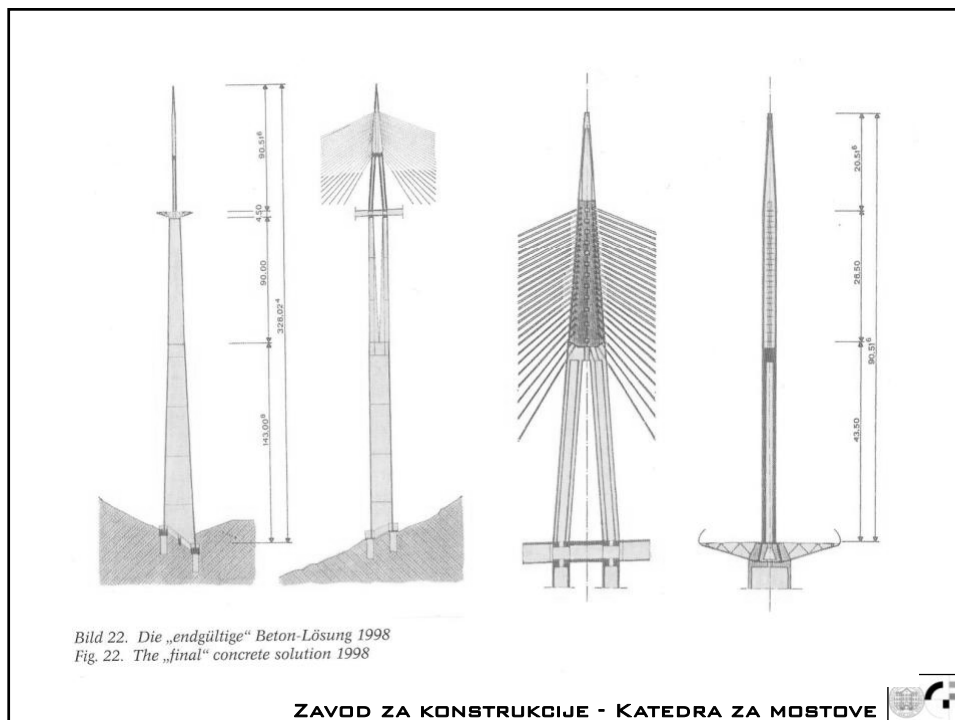
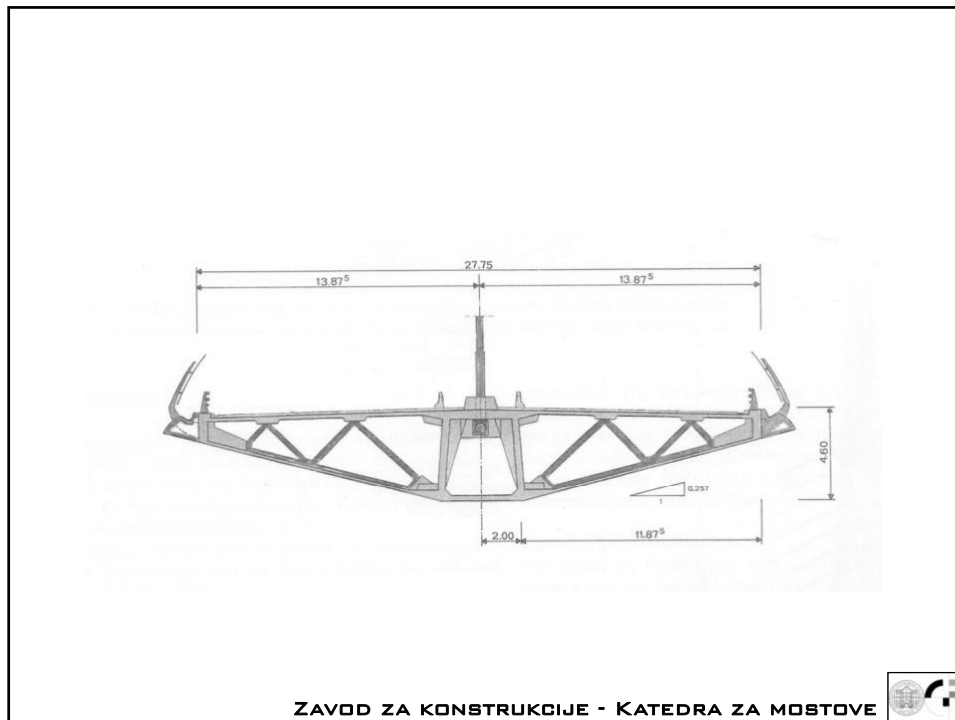


ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE





## 2. Uzdužno potiskivanje

**Most Wandre (1989) preko rijeke Meuse i kanala Albert,  
Wandre, Belgija**

Most *Wandre* prevodi prometnicu između riječne luke u Liege-u i morske luke u Anvers-u koso preko rijeke Meuse i kanala Albert.

Osnovne značajke (Sl.2-20):

- nema oslonaca u kanalu, jedan oslonac u rijeci Meuse
- na uskom nasipu između kanala i rijeke očuvanje željezničke pruge i bočna prilazna rampa za pristup tvornici
- jedan pilon, obrnutog Y-oblika, visine 95,5 m, izveden na nasipu
- ukupno 38 zatega u središnjoj ravnini oblika lepeze (po 19 sa svake strane pilona) na međusobnom razmaku od 6 m
- jednočelijasti sandučasti rasponski sklop od prednapetog betona širine 22,3 m i visine 3,3 m
- dva zavješena raspona, duljine 144 m odnosno 168 m, ukupna duljina 524 m.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

**Most Wandre (1989) preko rijeke Meuse i kanala Albert,  
Wandre, Belgija**

Most *Wandre* prevodi prometnicu između riječne luke u Liege-u i morske luke u Anvers-u koso preko rijeke Meuse i kanala Albert.

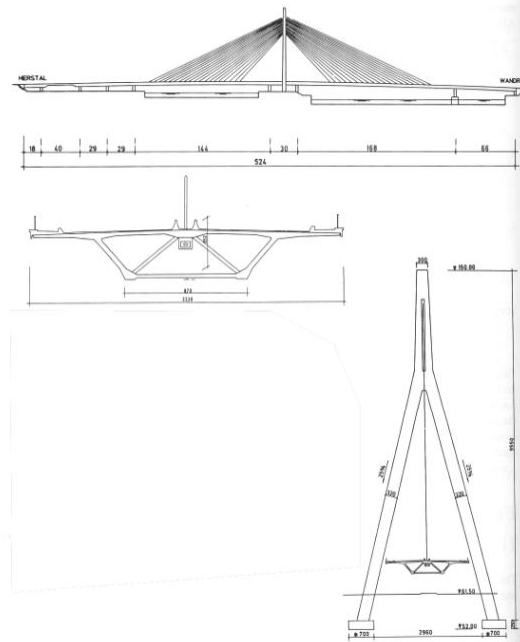
Osnovne značajke:

- nema oslonaca u kanalu, jedan oslonac u rijeci Meuse
- na uskom nasipu između kanala i rijeke očuvanje željezničke pruge i bočna prilazna rampa za pristup tvornici
- jedan pilon, obrnutog Y-oblika, visine 95,5 m, izveden na nasipu
- ukupno 38 zatega u središnjoj ravnini oblika lepeze (po 19 sa svake strane pilona) na međusobnom razmaku od 6 m
- jednočelijasti sandučasti rasponski sklop od prednapetog betona širine 22,3 m i visine 3,3 m
- dva zavješena raspona, duljine 144 m odnosno 168 m, ukupna duljina 524 m.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



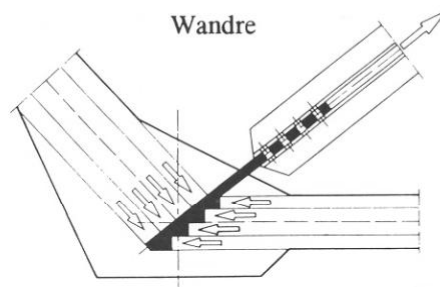
## 2. Uzdužno potiskivanje



## 2. Uzdužno potiskivanje

Opterećenja od rasponskog sklopa predaju se zategama preko čeličnih dijagonala.

Detalj spoja dijagonala i betonskog sanduka



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE

## 2. Uzdužno potiskivanje

- Zatege su od galvaniziranih paralelnih strukova svaki u 1,5 mm debeloj polietilenskoj cijevi zapunjenoj epoksijem.
- Svi strukovi jedne zatege smješteni su u 2 mm debelu cijev od nehrđajućeg čelika.
- Osim klasičnog prednapinjanja korišteno je i vanjsko prednapinjanje nakon završetka izvedbe uzdužnim potiskivanjem preko pomoćnih stupova, uglavnom u pristupnom grednom mostu na desnoj obali, da se zadrži jednaki lagani poprečni presjek.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

- Izvedba je provedena postupkom uzdužnog potiskivanja preko pomoćnih stupova u rijeci i kanaku, nakon što su riješeni problemi potiskivanja tako širokog sanduka s tankim hrptovima i namještanja zatega tako da je izvedena niveleta jednaka konačnom obliku bez početnih deformacija.
- Prednosti primjene ovog postupka gradnje bile su izvrsna kvaliteta izvedenih radova, jednovremena izgradnja rasponskog sklopa i pilona i jednostavna ugradba zatega i namještanje sila u njima.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

## Most Alzette (1990) preko doline Alzette, Luxembourg

Most se nalazi na jugoistočnoj zaobilaznici grada Luxembourg-a, koja povezuje autoceste prema Belgiji, Francuskoj i Njemačkoj. Prelazi dolinu Alzette, koja je na lokaciji mosta duboka 50 m.

Osnovne značajke:

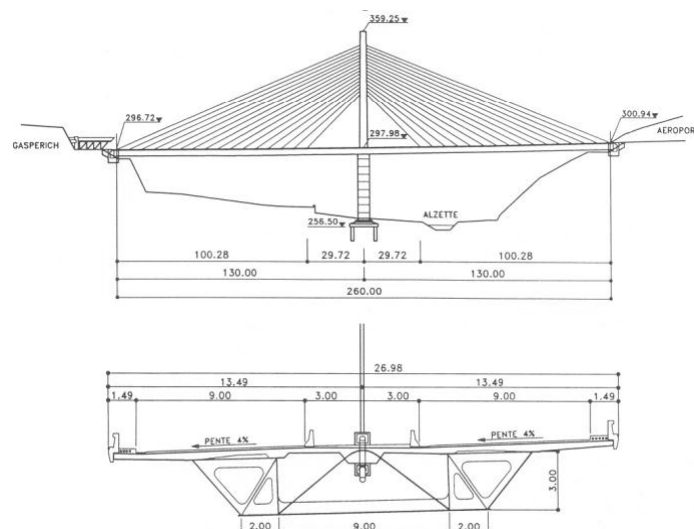
- potpuno simetrična niveleta
  - jedan središnji pilon, pravokutnog sandučastog presjeka, u koji je rasponski sklop potpuno upet
- razdjelni središnji pojas sa 32 zatege u obliku lepeze (po 16 sa svake strane pilona)
- spregnuti rasponski sklop, sastavljen od dva čelična sanduka i betonske ploče širine 26,98 m
- dva identična zavješena raspona, duljine po 130 m, ukupna duljina 260 m
- horizontalna krivina radijusa  $R=1.750$  m

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

## Most Alzette (1990) preko doline Alzette, Luxembourg



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

Zbog horizontalne krivine zatege nisu u jednoj ravni i predaju na pilon horizontalne sile poprečno na most.

Zbog toga je pilon izveden od prednapetog betona asimetričnog poprečnog presjeka, tako da se težište pilona pomakne prema središtu krivine i tako uravnoteži neželjene momente savijanja od zatega.

Spregnuti rasponski sklop čine dva rubno smještena trapezna čelična sanduka ukrućena poprečnim okvirima i povezana betonskom pločom promjenjive debljine.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 2. Uzdužno potiskivanje

Oba čelična sandučasta nosača, visine od 3 m, su otvorenog U-presjeka sa dva hrpta, vanjskim kosim i unutarnjim vertikalnim.

Gornji pojasevi su na razmaku od 4,50 m, a donji pojas je širine 2 m.

Svi limovi su promjenjive debljine, vertikalni hrptovi 20-33 mm, kosi hrptovi 22-44 mm i donja ploča 20-100 mm.

Između sanduka, na razmaku od 9 m ugrađeni su čelični trokutasti okviri za prijenos vertikalnih opterećenja od 4 hrpta u zatege.

Okviri se sastoje od ploča i zavarenih T-profila.

Ovaj oblik poprečnog presjeka rasponskog sklopa ima sljedeće prednosti:

- mного manja težina od betonskog presjeka

- tanji rasponski sklop za preuzimanje poprečnih momenata savijanja preko 5 oslonaca, 4 hrpta i zatege

- lakša montaža potiskivanjem samo rubnih sandučastih nosača.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE

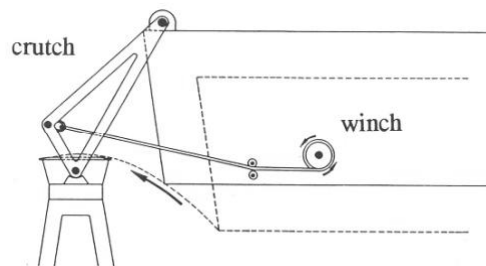


## 2. Uzdužno potiskivanje

Svaki od sandučastih nosača sklopljen je od 20 segmenata, duljine oko 13,5 m i dopremljenih kamionima.

Na gradilištu su sklopljeni zavarivanjem i povučeni vitlima prije betoniranja kolničke ploče preko 4 pomoćna stupa u dolini.

Progibi konzole kod montaže iznosili su oko 1,4 m, tako da su bili potrebni posebni uređaji da vodeći dio rasponskog sklopa sjedne na stupove i da se uspostavi konačna geometrija rasponskog sklopa.



Uređaj za regulaciju progiba kod montaže

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



## 3. Kombinirani postupci

Najčešće se koriste kombinirani postupci, s osnovnom idejom da se kod standardne dispozicije zavješnog mosta s jednim ili dva pilona prvo izvedu bočni rasponi i na taj način ostvari dostatna krutost pilona za konzolnu gradnju u glavnom otvoru.

Bočni otvori mogu se izvesti uzdužnim potiskivanjem sa ili bez pomoćnih oslonaca ili na pomičnoj skeli.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE

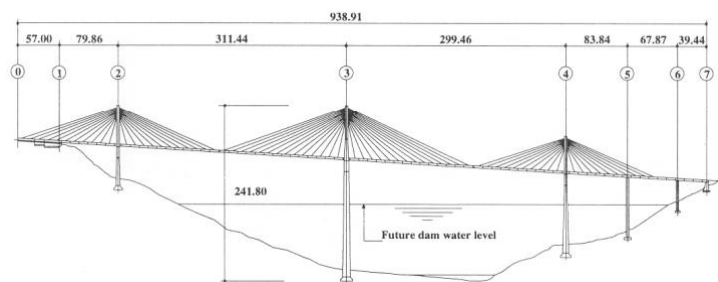


### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Most *Mezcala* (1993) preko rijeke Mezcala, na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Most *Mezcala* je ukupne duljine 939 m, sa dva središnja raspona duljina 311,44 m i 299,46 m ovješena na zatege pseudo-lepezastog oblika u dvije ravnine -lateralno ovješnje.



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE

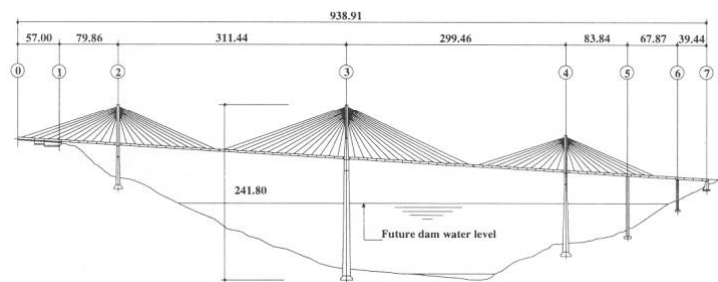


### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Most *Mezcala* (1993) preko rijeke Mezcala, na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Most *Mezcala* je ukupne duljine 939 m, sa dva središnja raspona duljina 311,44 m i 299,46 m ovješena na zatege pseudo-lepezastog oblika u dvije ravnine -lateralno ovješnje.



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



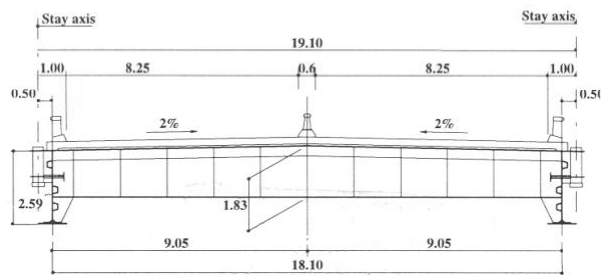
### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Prvobitni projekt sa klasičnim zavješanim mostom s jednim središnjim rasponom i dva bočna raspona nije bilo moguće izvesti zbog lošeg tla, što se ustanovilo tek tijekom radova na iskopima za temelje.

Izvedena je nova dispozicija s dva glavna raspona i tri pilona, koristeći već načinjene iskope.

Zavješeni sklop za 4 prometna traka je spregnutog tipa i čine ga dva bočno smještena I čelična nosača, međusobno povezana 20 cm debelom kolničkom pločom.



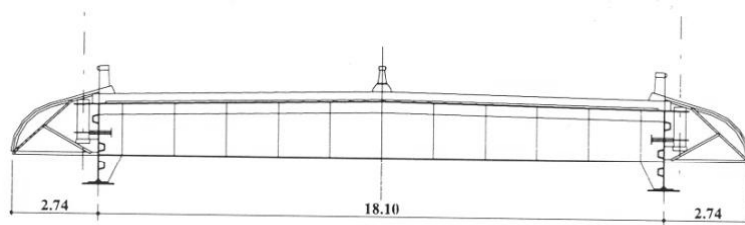
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Za osiguranje aerodinamičke stabilnosti mosta u središnjim rasponima P2-P3 i P3-P4 ugrađeni su deflektori.



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Ukupno je ugrađeno 140 zatega, sastavljenih od samo-zaštićenih strukova 0,6" (galvanizirani strukovi u masti i vlastitoj polietilenskoj cijevi) unutar vanjske polietilenske cijevi, od najviše 37 strukova.

Zatege su usidrene u rasponski sklop na svakih 12 m, što odgovara duljini pojedine sekcije.

Rasponski sklop je upet u upornjak A01 za preuzimanje seizmičkih sila.

Rasponski sklop gotovog mosta je uzdužno pomično oslonjen na pilonima P3 i P4, a nepomično na pilonu P2.

Na pilonima su ugrađeni i bočni ležajevi za preuzimanje horizontalnih sila okomito na most.

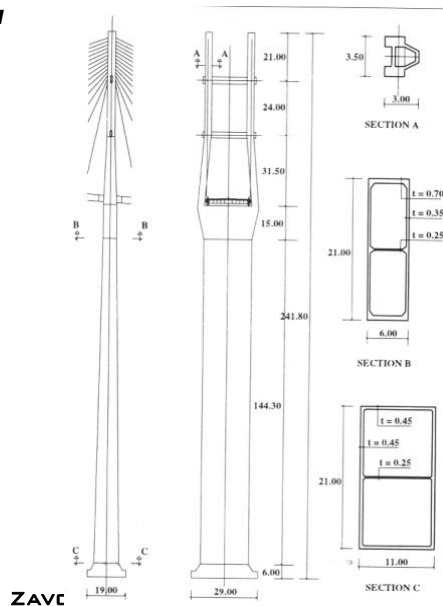
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Svi piloni i stupovi su sandučastog poprečnog presjeka, temeljeni plitko na stijeni.



ZAVC

ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### **3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu**

Na mjestima sidrenja zatega u pilon ugrađene su prednapete šipke, da se potpuno izbjegnu vlačna naprezanja u betonu.

Ukupno vrijeme za projekt i izvedbu nije smjelo biti dulje od 2,5 godine.

Pripremni radovi uključivali su izvedbu pristupne ceste duljine 42 km i potpuno nezavisnih izvedbenih instalacija.

Piloni i stupovi izvedeni su jednovremeno u podiznoj oplati.

Rasponski sklop u bočnim otvorima uzdužno je potisnut s desne i lijeve obale.

Korišten je čelični kljun i pomoćni pilon sa pomoćnim zategama da se izbjegne montaža pomoćnih stupova u bočnim otvorima tijekom potiskivanja.

Kljun je u kasnijim fazama korišten i kao montažna rešetka za ugradbu preostalih sekcija na pilonima P2 i P4, sukladno tipičnom postupku konzolne gradnje.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### **3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu**

Dijelovi rasponskog sklopa od pilona P3 ugrađeni su balansnim postupkom konzolne gradnje uz pridržavanje zategama. Sekcije su podizane s tla.

Kolnička ploča segmenta ( $n-2$ ) betonirana je nakon montaže čelične konstrukcije segmenta ( $n$ ).

Ustanovljeno je da konzole tijekom izvedbe treba stabilizirati zbog djelovanja vjetra i potresa.

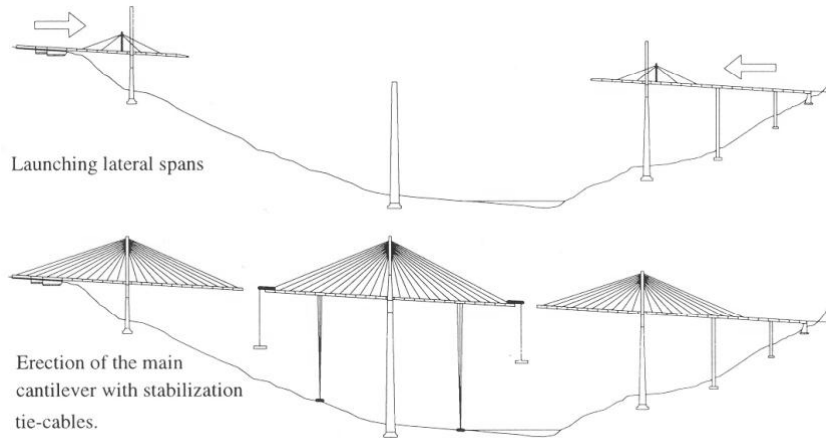
Stabilizacija je izvedena ugradbom pomoćnih vertikalnih zatega, usidrenih u rasponski sklop, koje su bitno smanjile momente savijanja na temelj pilona i na gornji dio pilona. Ovaj pomoćni sustav otpušten je nakon što su konzole spojene s susjednim konzolama rasponskog sklopa.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

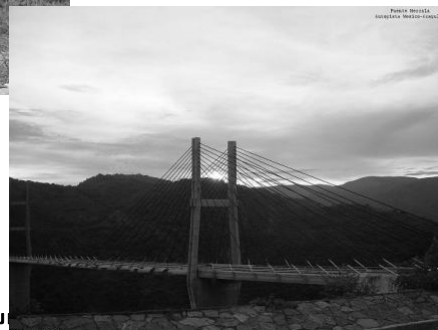
#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE

### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* imaju slične dispozicije. Zavješeni sklop oslonjen je na zatege u dvije ravnine na međusobnom uzdužnom razmaku od 12 m, pseudo-lepezaste konfiguracije. Most *El Cañón* ima glavni raspon  $L=166,0$  m, a *El Zapote* glavni raspon  $L=175,78$  m. Kratki bočni rasponi pridržani su zategama, simetrično postavljenim u odnosu na ekvivalentne zatege u glavnom otvoru. Preostale zatege kod oba mosta su međusobno paralelne i usidrene u upornjak A1, koji djeluje kao kontra-teret gredi u glavnom rasponu.

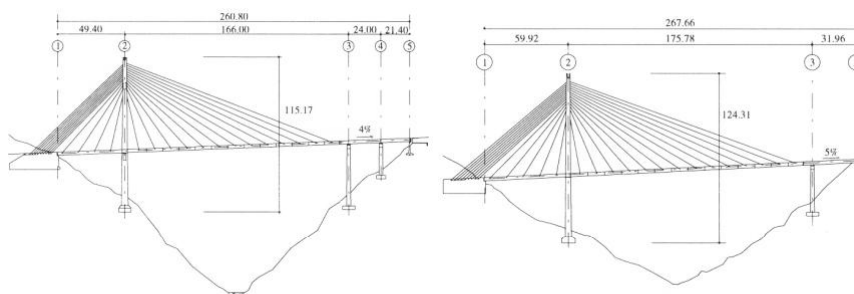
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Kod mosta *El Cañón* ugrađeno je 13 parova zatega u glavnom otvoru (14 kod mosta *El Zapote*).

Zatege se sastoje od paralelnih strukova 0,6", galvaniziranih i dodatno zaštićenih epoksidnim ili polietilenskim prijemazon, unutar polietilenske zaštitne cijevi.

Najveći broj strukova jedne zatega iznosi 37.

Kod oba mosta rasponski sklop je vertikalno oslonjen na pilon, dok je u uzdužnom smjeru pomičan.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE

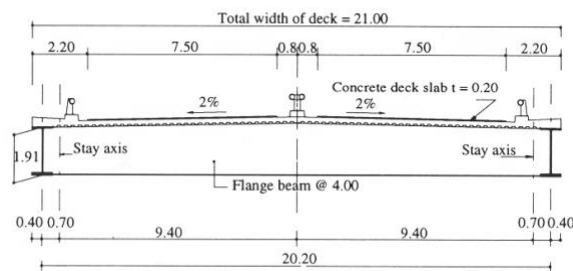


### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Zavješeni sklop oba mosta ukupne širine od 21 m, za 4 prometna traka, je spregnutog tipa i čine ga dva bočno smještena I čelična nosača, međusobno povezana 20 cm debelom kolničkom pločom.



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Os usidrenja zatega pomaknuta je od osi glavnih rubnih čeličnih i nosača za 0,70 m prema sredini.

Poprečne grede uravnotežuju pripadni moment torzije.

Čelični nosači su međusobno spojeni prednapetim visokovrijednim vijcima, da se ubrza montaža rasponskog sklopa.

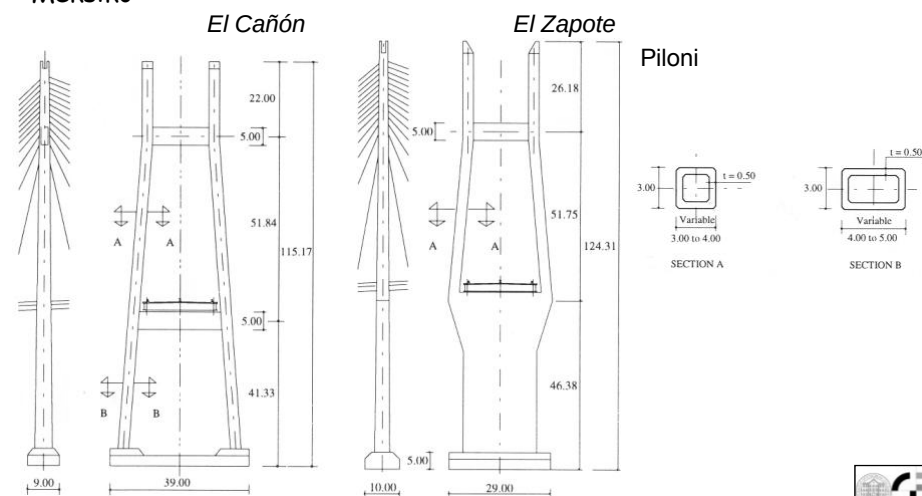
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

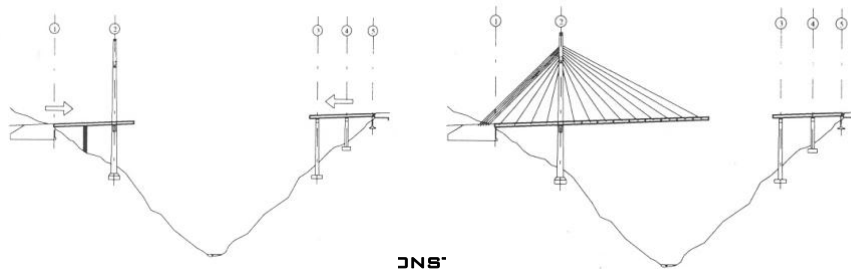
Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Propisano ukupno vrijeme za projekt i izvedbu bilo je 2 godine.

Piloni i stupovi izvedeni su u podiznoj oplati.

Na mjestima sidrenja zatega u pilon ugrađene su prednapete šipke, da se potpuno izbjegnu vlačna naprezanja u betonu.

Rasponski sklop oba mosta u bočnim otvorima uzdužno je potisnut s upornjaka, uz po potrebi uporabu privremenih stupova.



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Glavni raspon je zatim montiran postupkom konzolne gradnje. Izrađeni su posebni derrick-kranovi za dopremu i montažu čelične konstrukcije u sekcijama, duljine od 12 m (jednake razmaku zatega).

Tipični ciklus montaže jednog segmenta odvijao se, kako slijedi:

1. Pomicanje derrick-krana u položaj za sekciju (*i*),
2. Ugradba čelične sekcije (*i*). Provjera relativne geometrije u odnosu na sekciju (*i-1*),
3. Djelomično utezanje zatega sekcije (*i*) i odgovarajućih sidrenih zatega,
4. Betoniranje kolničke ploče sekcije (*i*),
5. Dodatno utezanje zatega (*i*),
6. Namještanje sila u zategama (*i*), ako se ukaže potreba.

Izvedba rasponskog sklopa mostova *El Cañón* i *El Zapote* započela je u veljači 1993, a završena je 5. svibnja iste godine, tj. u 3 mjeseca.



### 3. Kombinirani postupci

#### 3.1 Uzdužno potiskivanje u bočnim rasponima i konzolna gradnja u glavnom rasponu

Mostovi *El Cañón* i *El Zapote* (1993) na AC Mexico City-Acapulco, Meksiko

Za ugradbu preostalih sekcija na pilonima P2 i P4, sukladno tipičnom postupku konzolne gradnje.

Dijelovi rasponskog sklopa od pilona P3 ugrađeni su balansiranim postupkom konzolne gradnje uz pridržavanje zategama.

Sekcije su podizane s tla.

Kolnička ploča segmenta ( $n-2$ ) betonirana je nakon montaže čelične konstrukcije segmenta ( $n$ ).

Ustanovljeno je da konzole tijekom izvedbe treba stabilizirati zbog djelovanja vjetrova i potresa.

Stabilizacija je izvedena ugradbom pomoćnih vertikalnih zatega, usidrenih u rasponski sklop, koje su bitno smanjile momente savijanja na temelj pilona i na gornji dio pilona. Ovaj pomoćni sustav otpušten je nakon što su konzole spojene s susjednim konzolama rasponskog sklopa.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 4. Posebni postupci

Kao što je već napomenuto, svaki zavješeni most je unikatna građevina i ponekad se primjenjuju neuobičajeni postupci izvedbe.

Navode se dva primjera, oba iz Belgije, projektant Rene Greisch, jedan s primjenom rotacije oko vertikalne osi (most *Ben-Ahin*) i drugi kod kojeg su za isti raspon kombinirani postupci konzolne gradnje i potiskivanja za pojedine dijelove poprečnog presjeka, s ciljem da se što više već izvedenih elemenata uključi u preuzimanje opterećenja od preostalih elemenata i na taj način krajnje smanje izmjere svih elemenata (most *Lanaye*).

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE





### 3. Kombinirani postupci

Most *Ben-Ahin* (1987) preko rijeke Meuse, Ben-Ahin, Belgija

Pilon je ukupne visine od 93,5 m, mjereno od razine temelja.

Obrnutog je Y-oblika s nogama savinutim ispod rasponskog sklopa prema unutra i upetim u temelj.

Poprečna greda kod loma ispod rasponskog sklopa preuzima vlačne sile od promjene smjera osi nogu i služi za oslanjanje rasponskog sklopa.

Poprečni presjeci svih dijelova pilona su sandučasti, da se omogući prilaz sidrištima zatega u pilonu.

Na gornjem dijelu pilona ugrađen je čelični okvir usidren u betonsku konstrukciju pilona, kojim se ostvaruju sljedeće prednosti:

- izradba čeličnog okvira u radionici, čime se izbjegava složena oplata oko sidrišta zatega
- zasebno sidrenje svake zatega
- jednostavni pregled sidrišta zatega za vrijeme životnog vijeka mosta
- jednostavna zamjena zatega, ako se za to ukaže potreba.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE

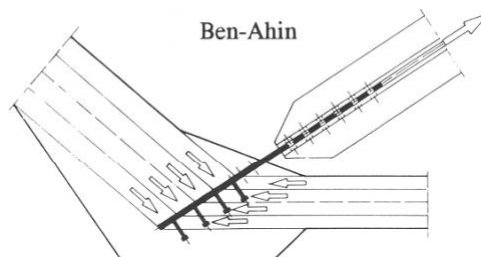


### 3. Kombinirani postupci

Most *Ben-Ahin* (1987) preko rijeke Meuse, Ben-Ahin, Belgija

Opterećenja od rasponskog sklopa predaju se zategama preko čeličnih dijagonala.

Detalj spoja dijagonala i betonskog sanduka



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

Most *Ben-Ahin* (1987) preko rijeke Meuse, Ben-Ahin, Belgija

Most je izveden originalnim postupkom zaokretanja oko vertikalne osi zbog zahtjeva da se most završi u dvije godine, zbog nemogućnosti postavljanja pomoćnih stupova u rijeku Meuse i zbog velikog slobodnog prostora na lijevoj obali za organizaciju provedbe radova na izgradnji mosta.

Istovremeno su betonirani rasponski sklop i pylon u uvjetima optimalne sigurnosti, na lijevoj obali, paralelno s rijekom.

Nakon montaže i namještanja sila u zategama, nosivi sklop pylon-zatega-rasponski sklop zaokrenut je za 70 stupnjeva oko osi pilona i tako doveden u konačni položaj.

Taj postupak, već prije korišten u Austriji (na kanalu Dunava) i u Francuskoj (Meylan i Illof), dosegao je rekord kod ovog mosta, jer je zaokretanjem položen u konačni položaj most duljine 294 m i težine od 17.000 t.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

Most *Ben-Ahin* (1987) preko rijeke Meuse, Ben-Ahin, Belgija

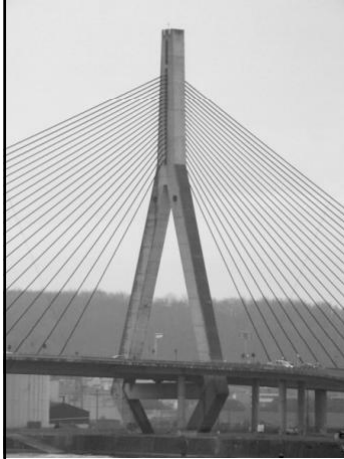


ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

Most *Ben-Ahin* (1987) preko rijeke Meuse, Ben-Ahin, Belgija



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

Most *Lanaye* (1982) preko kanala Albert, Lanaye, Belgija

Most *Lanaye* smješten je u mjestu Lanaye, 10 km nizvodno od Liege-a. Prelazi kanal Albert.

Osnovne značajke:

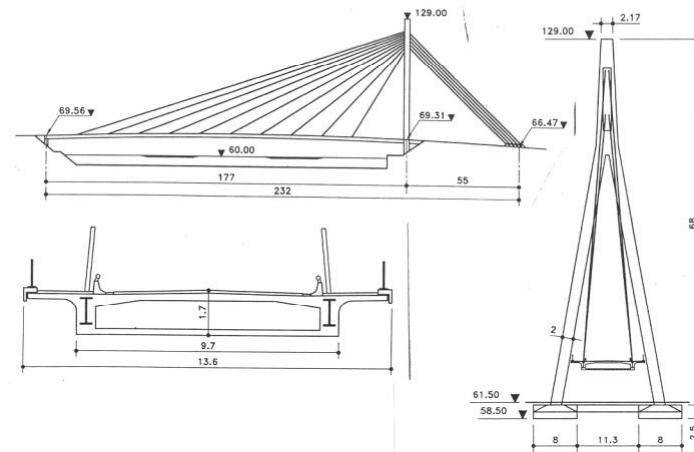
- asimetrična niveleta
- središnji zavješeni raspon uravnotežen s upornjakom s temeljima duboko u tlu
- jedan pilon, obrnutog Y-oblika, visine 60 m, smješten na desnoj obali kanala
- lateralno zavješeno u obliku lepeze, sa 20 zatega u nagnutim ravninama (10 na svakoj strani)
- jednočelijasti sandučasti rasponski sklop s ubetoniranim čeličnim nosačima od lakog betona, širine 13,20 m i visine 1,65 m
- jedan zavješeni raspon, duljine 177 m i ukupna duljina 232 m.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

Most *Lanaye* (1982) preko kanala Albert, Lanaye, Belgija



ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

Most *Lanaye* (1982) preko kanala Albert, Lanaye, Belgija

Poprečni presjek rasponskog sklopa je jednočelijasti pravokutni sanduk s obostranim konzolama. Oba hrpta su armirana s čeličnim I-nosačima (kruta armatura – patent Melan 19 stoljeće)

Most je izveden primjenom ubetoniranih čeličnih nosača, čime se omogućila zamjena skupih skela za izvedbu laganim čeličnim okvirom, koji u fazi uporabe sudjeluje u krutosti spregnute konstrukcije.

Postupak izvedbe:

- montaža sukcesivnom konzolnom gradnjom oba čelična nosača, koji su pridržavali nenapetu armaturu ovješeneh na zatege
- betoniranje donjeg pojasa sanduka na nepomičnoj skeli na obali i vješanje na čelične nosače
- postupno povlačenje betonske ploče donjeg pojasa u koracima od 15 m, dok nije dosegla drugu obalu
- betoniranje ostatka betonskog presjeka, koji se oslanjao na donju ploču uz odgovarajuće utezanje zatega.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### Most *Lanaye* (1982) preko kanala Albert, Lanaye, Belgija

Takav postupak izvedbe omogućio je da donja ploča sanduka služi kao oplata za betoniranje preostalih dijelova sanduka i da se ograniče negativni momenti savijanja kod betoniranja na konzolama, jer su zatege ugrađene zajedno s čeličnim nosačima.

Dodatno, uporabom laganog betona smanjene su potrebne izmjere čeličnih nosača u fazama gradnje, smanjeni su presjeci zatega, težina raspona koji funkcionira kao kontra-teret, kao i temelji pilona.

Glavni zavješeni raspon uravnotežen je kontra-teretom upornjaka, koji je duboko temeljen u tlo, da može preuzeti odiznu silu od zatega od 6.000 t. Horizontalna komponenta sila u zategama prenosi se u rasponski sklop preko debele ploče.

Raspon za kontra-teret je potpuno ukopan u tlo ispod ceste.

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

#### Most *Lanaye* (1982) preko kanala Albert, Lanaye, Belgija



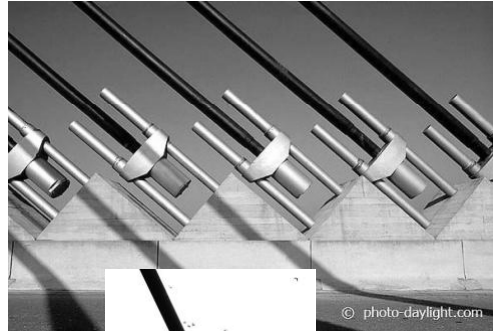
© photo-daylight.com

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE - KATEDRA ZA MOSTOVE



### 3. Kombinirani postupci

Most *Lanaye* (1982) preko kanala Albert, Lanaye, Belgija



© photo-daylight.com

ZA KONSTRUKCI

OSTOVE

