



Sveučilište u Splitu
GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET
Matice hrvatske 15
Split

GRAĐENJE MOSTOVA

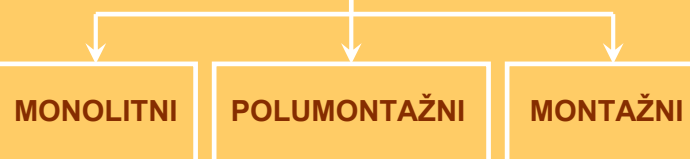
NASTAVNICI: Prof. dr. sc. Jure Radnić
Prof. dr. sc. Alen Harapin
Prof. dr. sc. Domagoj Matešan

GRAĐENJE MOSTOVA

- Građenje mostova predstavlja poseban inženjerski izazov. Pojedini načini građenja su priča za sebe.
- Donedavno građenje mostova se provodilo isključivo na skelama, koje su ponekad bile unikatne građevine, često složenije od samog mosta.
- U novo vrijeme težnja za brzom i jeftinom izgradnjom dovela je do razvoja čitavog niza postupaka koji pojednostavnjuju i pojeftinjuju izgradnju. Dakako da sa stajališta korisnika ovi postupci nisu zanimljivi, već se ocjena mosta mora dati sa stajališta oblikovne vrijednosti i svrsishodnosti mosta.

- Stanoviti postupci gradnje utječu i na konstruktivni sustav mosta, pri čemu se znatno razlikuju mostovi izvedeni na fiksnim skelama od mostova izgrađenih modernim postupcima.
- Kod gradnje mostova često se naglasak stavlja na gradnju rasponske konstrukcije, iako ima primjera da je izvedba temelja bila skuplja od izvedbe rasponske konstrukcije.
- Bitno je poznavati što više uhodanih i posebnih načina izvedbe mostova da bi mogli ocijeniti koji je način najprikladniji sa stanovišta svih bitnih zahtjeva na most. Pri tome valja imati na umu da postoje i naročiti mostovi čija vrijednost izlazi izvan zanatskih okvira.

OPĆI POSTUPCI GRADNJE



Konkretni odabir postupka gradnje ovisi o više činilaca, a često je mjerodavni činilac oprema i tehnologija kojima raspolaže firma koja most gradi.

GRAĐENJE TEMELJA UPORNJAKA I STUPOVA

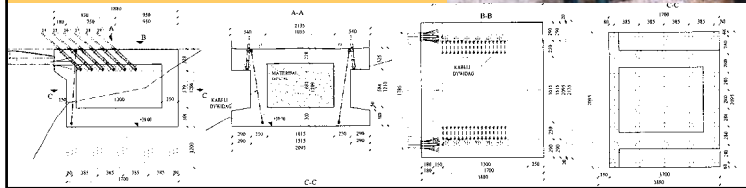
- Temelji upornjaka i stupova, kao uostalom i drugih građevinskih konstrukcija, mogu se izvoditi kao plitki temelji (kada su uvjeti za temeljenje dobri - kvalitetno tlo), ili kao duboki temelji (piloti, bunari, kesoni) kada uvjeti za temeljenje nisu dobri.
- Kod plitkih temelja uvijek se nastoji dno temelja osloniti na čvrstu stijenu - "zdravicu". Ako to nije moguće potrebno je paziti na moguće potkopavanje ili podlokavanje temelja.
- Temeljenje na pilotima koristi se u uvjetima kada nije moguće iskopati tlo do čvrstog. Načelno se razlikuju zabijani i bušeni piloti, pri čemu su bušeni piloti danas najčešći. Promjeri im se kreću od 80-300 cm, a ima mnogo različitih sustava, licenci i патената.
- U izrazito lošim tlima (mulj, močvara i sl.) za izradu temelja se koriste bunari ili kesoni.



Izvedba temelja upornjaka za nadvožnjak Mercatone, Kaštel Sućurac



Izvedba temelja upornjaka za most Dubrovnik



GRAĐENJE UPORNJAKA

- Upornjaci mostova su obično takvi da ih je najpovoljnije graditi na klasičan način. Obično se radi o niskim zidovima i sličnim konstrukcijama za koje su postupci građenja analogni onima u visokogradnji.
- Upornjaci mogu biti i vrlo složene građevine. Tada je njihova gradnja stvar posebne tehnologije.





Izvedba upornjaka za nadvožnjak Mercatone, Kaštel Sućurac



Izvedba upornjaka za most Krka

GRAĐENJE STUPOVA

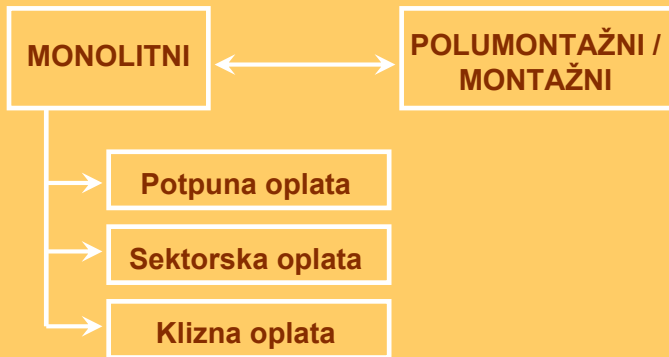
- Za izbor pogodnog načina izvođenja stupova vrlo je bitna njihova visina kao i broj stupova na mostu. Ako most ima samo niske stupove tada je redovito postupak njihovog građenja jednostavan. Ako su stupovi visine 10-15 m, možemo ih sagraditi na klasičan način s potpunim oplatama, postavljenim odjednom po čitavoj visini stupa. Na takvim visinama mogu se graditi i polumontažni i montažni stupovi od jednog komada po visini. Ako su stupovi mosta viši, pogotovo ako su viši od 30 m, tada u obzir dolaze segmentni načini gradnje, na licu mjesta ili polumontažni postupak.

GRAĐENJE UPORNJAKA I STUPOVA

- Oblik stupova bitno uvjetuje tehniku građenja stupova. Ako su stupovi jednostavnog oblika, vertikalnih ili blago zakošenih ploha, njihova izvedba i u slučaju visokih stupova ne predstavlja znatniju poteškoću. Međutim, ako su stupovi razgranati, sa isturenim rukama i slično, a pogotovo kada su i visoki, tada je potrebno detaljno razraditi način građenja stupova.



NEKE UOBIČAJENE METODE GRAĐENJA STUPOVA



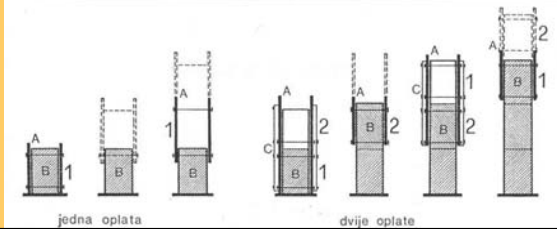
Potpuna oplata

- Pod ovim pojmom se podrazumijeva oplata sastavljena za cijelu visinu stupa. Ova oplata može biti prenosiva ili neprenosiva. Prednost rada u ovim oplatama je što oplate i njihovi sastavci mogu biti izrađeni vrlo precizno, što uvjetuje jednolične i precizne plohe, što je za estetsku vrijednost mosta vrlo značajno.



Sektorska oplata

- Kada su stupovi visoki izrađujemo ih u odsječcima od 3-5 m, koje nazivamo sektorima ili katovima. Sektorske oplate moraju biti tako konstruirane da ih je jednostavno premještati po visini. Oplate i njihovi nosači premještaju se po visini stupa, uz otpuštanje od betona prethodnog sektora (kata). Pri napredovanju radova u visinu oplate i ukrućenja se oslanjaju na donji, prethodno izvedeni sektor, pri čemu je, naravno, potrebno pričekati da taj sektor dostigne odgovarajuću čvrstoću. Sektorske oplate su prikladne za stupove više od 15 m.
- Osim s jednom, raditi se može s dvije ili tri sektorske oplate istovremeno. Rad s više oplate bitno ubrzava cijeli radni proces, a ujedno se može postići da beton donjeg kata bude još svjež kada se na njega dodaje beton gornjeg kata, što bitno povećava kvalitetu gotove konstrukcije.

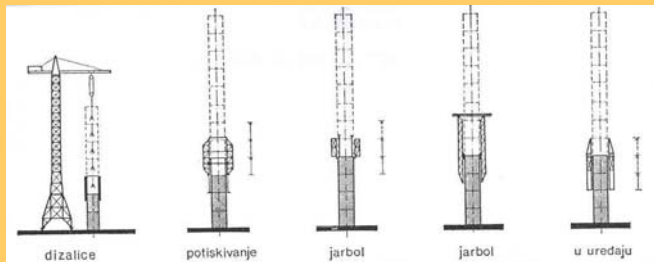


Sektorska oplata



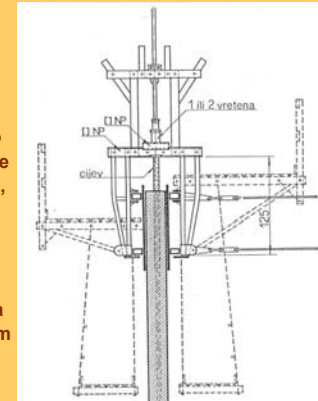
Sektorska oplata

- Premještanje oplata duž stupa može se vršiti dizalicama (fiksne, kabel-kran, plovne ili sl.), može se potiskivati prešama koje se oslanjaju na već izrađene sektore ili se mogu podizati pomoću jarbola koji se montira na vrh izrađenog sektora.
- Oplate se mogu izvesti i na način da im se dimenzije mogu mijenjati, pa je na taj način moguće izvoditi i stupove promjenjiva oblika.



Klizna oplata

- Premještanje oplata i uređaja može se odvijati neprekidno stanovitom brzinom, a što mora pratiti i betoniranje. Zato se rad s kliznim oplatama mora organizirati neprekidno, što uvjetuje određene specifične mjere kod takvih radova.
- Klizanje oplata vrši se brzinama od 15 do 25 cm/sat. Oplata se oslanja na specijalne vodilice (najčešće šipke profila Ø32-Ø36), koje trajno ostaju zabetonirane u tijelo stupa
- Osim stupova konstantnog poprečnog presjeka, kliznim oplatama se mogu izvoditi i stupovi kojima postoji promjena debljine stijenki. Tako su kliznom oplatom izvedeni stupovi "Europa Brücke" kraj Innsbrucka u Austriji, koji su visine 146 m, šupljeg poprečnog presjeka debljine stijenki od 55 do 35 cm. Srednja brzina kretanja je bila 5.4 m na dan.



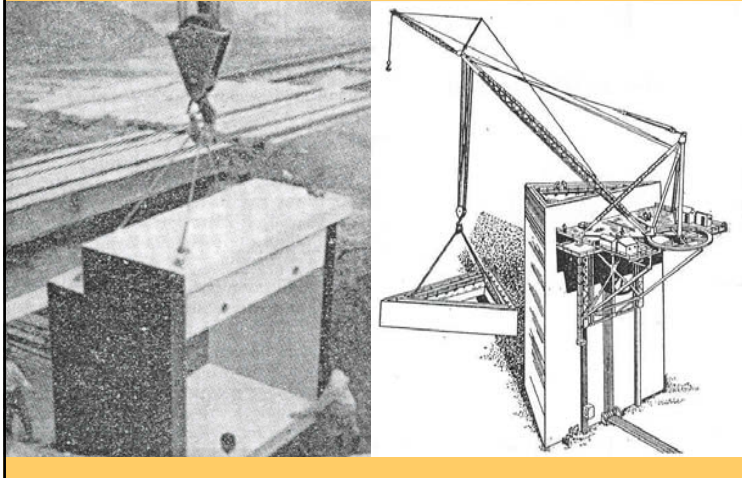
Neke napomene

- Neki specifični problemi kod rada s kliznim i sektorskim oplatama
- Armaturu stupa je potrebno uskladiti s visinom sektora, jer šipke nije moguće voditi cijelom visinom stupa.
 - Pošto se rad odvija često na velikim visinama, potrebno je osigurati način komotnog i laganog prilaza platformi za rad, a također i tu platformu prikladno osigurati.
 - U projektu građenja potrebno je riješiti problem demontiranja i spuštanja oplata.
 - Kod rada sa sektorskim i kliznim oplatama valja izbjegavati naglavnice, jer one znatno kompliciraju završetke stupova.
- Uz navedene prednosti i nedostatke ovih postupaka, korisno je istaknuti da se ovim načinima dobivaju monolitni stupovi koji se mogu prikladno zaštititi od propadanja zbog prodiranja vlage i vode u unutrašnjost betona.

Izvedba polumontažnih i mont. stupova

- Stupovi (i upornjaci) mogu biti izvedeni od komada koji su izrađeni izvan mosta te pomoću određenih naprava dopremljeni i montirani u konačni položaj.
- Stupovi, ako su kratki mogu se u potpunosti izraditi u pogonu, dopremiti na gradilište i montirati. Visoke stupove je potrebno montirati u komadima, no pošto su stupovi pretežno tlačno opterećeni elementi, za njih je i pogodno sastavljanje od komada manjeg presjeka, jer to značajno smanjuje masu komada i omogućava lakši rad. U svakom slučaju, pri izboru montažnog postupka građenja mostova uvijek je pogodno izabrati komad onolike mase koliku je moguće podići dizalicama, tako da visina stupa ne bude prepreka podizanju komada.
- Kod montažnog postupka, montažni komadi su uglavnom potpuno gotovi i potrebno je samo izvršiti monolitizaciju. Kod polumontažnog postupka, montažni komad najčešće služi kao izgubljena oplata u kojoj se betonira monolitni dio stupa.

Izvedba polumontažnih i mont. stupova



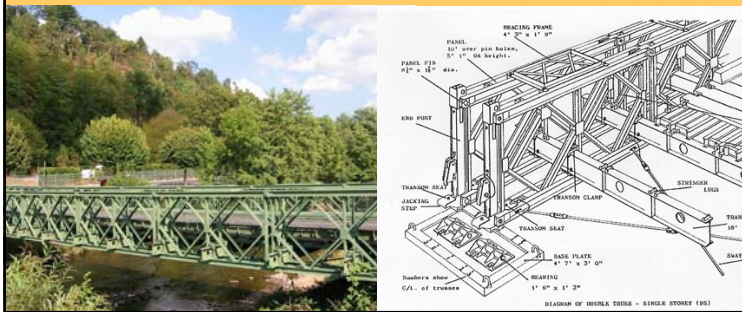
Most Erasmo u Rotterdamu

Montiranje pilona mosta

Most Aikinada (Japan),
montiranje dijela pilona

Privremeni montažni mostovi

U svijetu ima više tipova izvedbe montažnih, uglavnom privremenih mostova. Jedan od najpoznatijih su tzv. Bailey mostovi. Konstruirao ih je 1939. Sir Donald Bailey, britanski inženjer za potrebe brze izvedbe mostova u ratnim uvjetima – elementi su tako konstruirani i izvedeni da ih 8 vojnika može bez problema ručno prenjeti i montirati. Projektirani su za nosivost do 40 t. Neki Bailey mostovi koriste se kao trajni mostovi.



GRADENJE RASPONSKIH KONSTRUKCIJA I LUKOVA MOSTOVA

betoniranje dugih odsječaka na mjestu gradnje

betoniranje kratkih odsječaka na mjestu gradnje

postavljanje prefabriciranih dugih elemenata

postavljanje prefabriciranih kratkih elemenata

GRAĐENJE RASPONSKIH KONSTRUKCIJA I LUKOVA MOSTOVA

Kod svakog od ovih postupaka vrlo bitni su načini obrade radnih (spojnih) reški. Kod betoniranja na mjestu gradnje dugih odsječaka, meka armatura se nastavlja preklapanjem ili varom, a prednapeti kablovi specijalnim spojnicama. Kod betoniranja na mjestu gradnje kratkih odsječaka (npr. balansni postupak), određeni broj kabela se sidri, a ostali prolaze skroz, a nastavlja se samo meka armatura. U oba slučaja presjek se može djelomično prednapinjati.

Spajanje prefabriciranih dugih i kratkih elemenata uvijek se vrši prednaprežanjem. Radna reška se može ispuniti betonom (običnim, mikrobetonom, epoksidnim mortom ili cementnim mortom), a može ostati i neispunjena. U nekim slučajevima može se vršiti i lijepljenje segmenata epoksidnim premazima. Prefabricirani elementi uvijek moraju biti potpuno prednapregnuti da pri punom opterećenju ne dođe do razdvajanja reški.

GRAĐENJE RASPONSKIH KONSTRUKCIJA I LUKOVA MOSTOVA

U slučaju čeličnih i drvenih mostova gotovo uvijek je prisutno montiranje dugih elemenata. Spajanje se vrši spojnim sredstvima (vijci, čavli, zakovice) ili varenjem (čelik). Svi spojevi trebaju biti obrađeni i zaštićeni.



Izvedba mostova na nepokretnim skelama

Tehnika izvedbe mostova na nepokretnim skelama spada u betoniranje na licu mjesta dugih odsječaka i do nedavno (sredina 20. stoljeća) se gotovo isključivo koristila za izradu mostova. Domišljatost inženjera u konstruiranju i postavljanju, a i u otpuštanju skele je dala trajni pečat nekim mostovima, tako da su sami mostovi potisnuti u drugi plan. Poznat je i niz projekata koji su se specijalizirali samo za skele (npr. R. Coray).

Nepokretne skele masivnih mostova obično su se izrađivale od drveta. Drvo je izrazito prikladan materijal jer trajnost nije bitna (skele izrađujemo samo za kratko vrijeme), a pogodno je da su takve konstrukcije lagane i da se gradivo može lako obraditi te dijelovi lako rastavljati i sastavljati. Čelične skele su pogodne kod mostova koji imaju više jednakih otvora ili ako moramo izgraditi više jednakih mostova, dakle u svim slučajevima kad ih možemo iskoristiti više puta bez većih izmjena. Kod manjih mostova kao skele i oplata mogu se koristiti standardne montažne oplata koje se koriste u visokogradnji.

Čelične skele su osjetljivije na utjecaj temperature od drvenih skele, dok su drvene osjetljivije na promjenu vlažnosti. Po namjeni se razlikuju skele grednih i lučnih mostova.

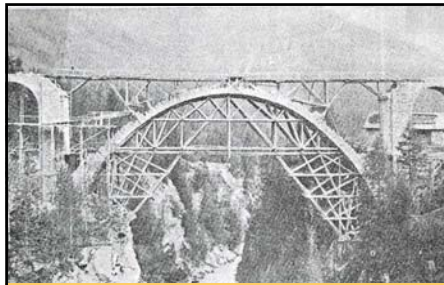
Tipovi fiksnih (nepokretnih) skele

Drvene i metalne skele izvide se kao štapaste (rešetkaste) konstrukcije koje mogu sačinjavati različite statičke sustave. Izbor tipa skele i njenog načina oslanjanja bitno ovisi o nizu čimbenika, kao npr. prikladnost tla za temeljenje, oblik uvale, potreba za slobodnim prolazom ispod skele za vrijeme gradnje i sl.

FIKSNE SKELE (podjela prema broju otvora)

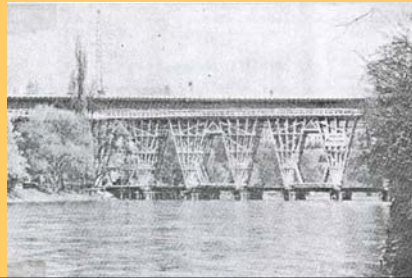
Skele na dva oslonca (slobodne skele) - koje je općenito teže izraditi i montirati (često je potrebna pomoćna skele za izradu same skele), no lakše je proračunati i otpustiti, a općenito i zahtjeva manje građe;

Skele na više oslonaca (poduprte skele) - koje je općenito lakše izraditi i montirati, no zahtijevaju više građe i teže ih je proračunati i otpustiti.



Primjer skele na dva oslonca: skele mosta preko rijeke Inn, Cinuskel, Švicarska (1911 god.), raspon luka 47 m, visina uvale 50 m

Primjer skele na više oslonaca za neki gredni sklop



FIKSNE SKELE

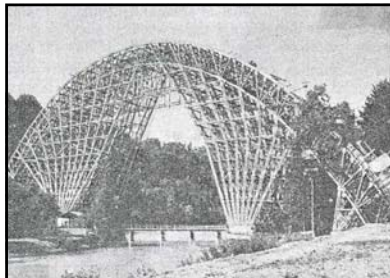
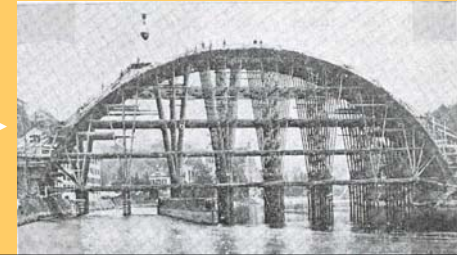
Podjela prema materijalu

- Drvene
- Čelične
- Aluminijske
- Kombinirane

Podjela prema obliku

- Radijalne
- Lepezaste
- Skele na stupcima

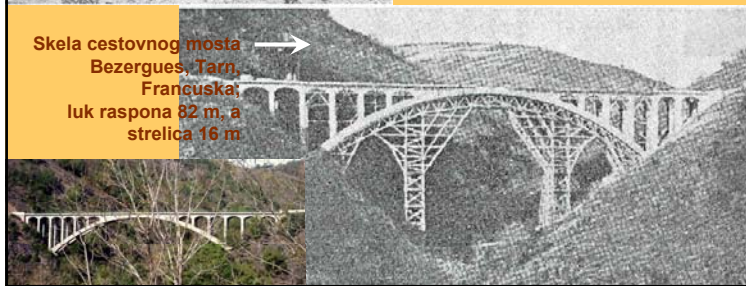
Drvena skele mosta na rijeci Limmat u Badenu (Njemačka); Raspon svoda 72 m, a visina 26 m



Drvene fiksne skele

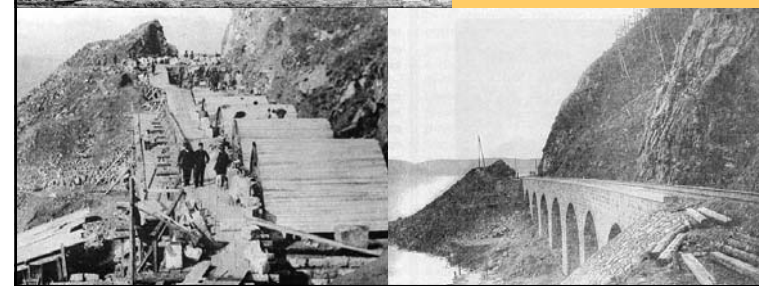
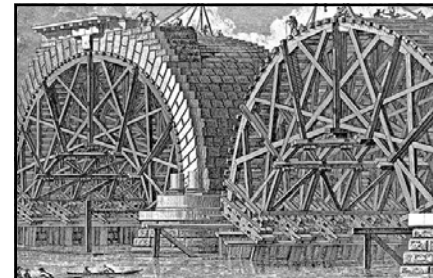
Kombinirana lučno-lepezasta skele od lučnog dijela koji slijedi intrados i dviju lepezastih podupora. Pri donjem dijelu lepeze dodani su kosnici za osiguranje poprečne stabilnosti

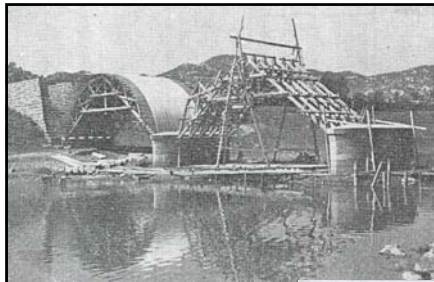
Skela cestovnog mosta Bezergues, Tarn, Francuska; luk raspona 82 m, a strelica 16 m



Drvene fiksne skele

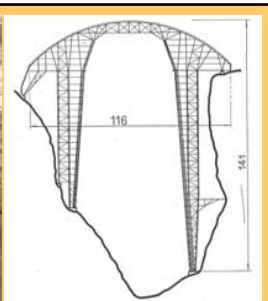
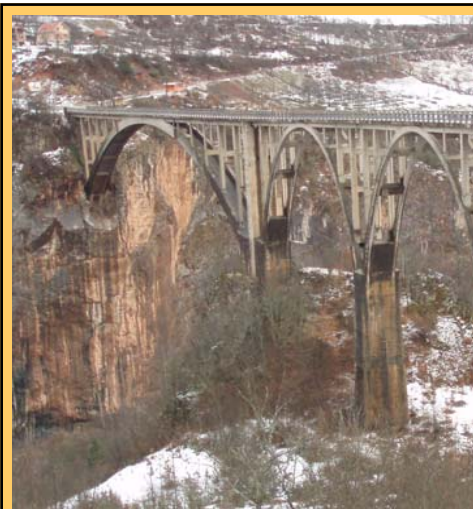
Lučna skele mosta Canton i sami most, Škotska 1936.



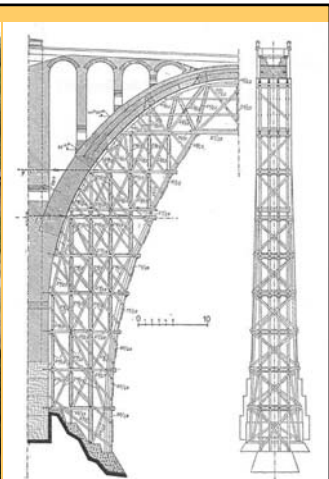


← Primjer slobodne razuporne skele za vrijeme njezine izgradnje Most preko rijeke Like u Kosinju, Hrvatska

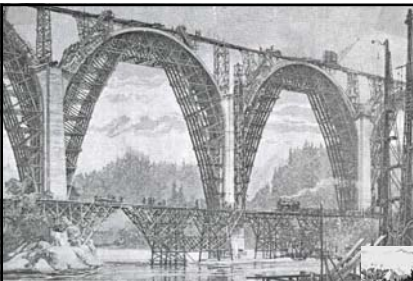
Skela za svod mosta Pont de la Calle (1930.) otvor svoda 137 m, raspon luka skele 125 m →



Skela mosta na Tari i sami most, Crna Gora projektant Trojanović, skela Coray



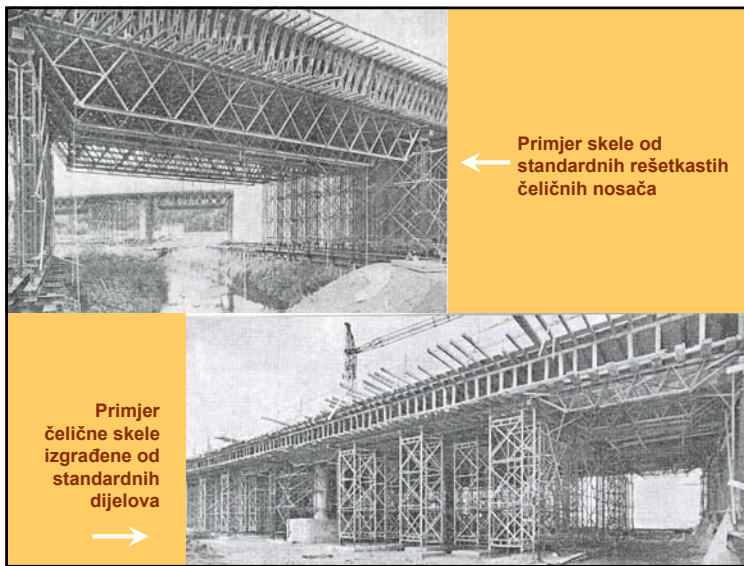
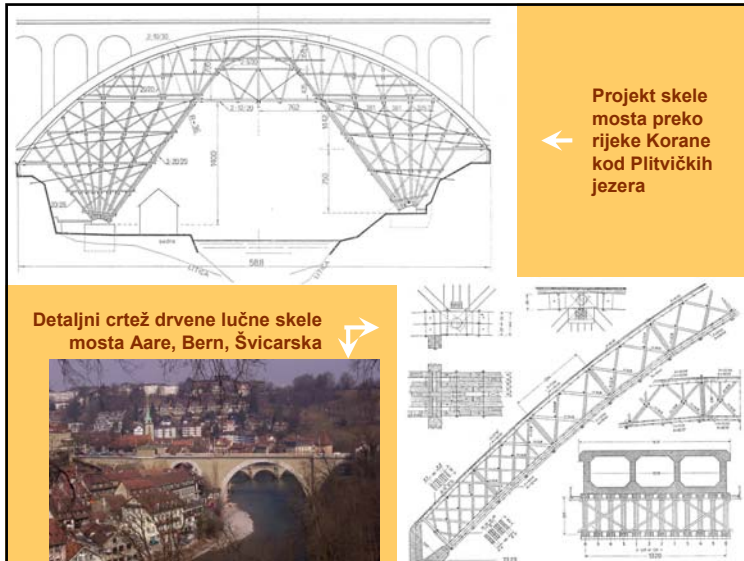
Skela vijadukta Wiesener i sami vijadukt; primjer tzv. skele na katove

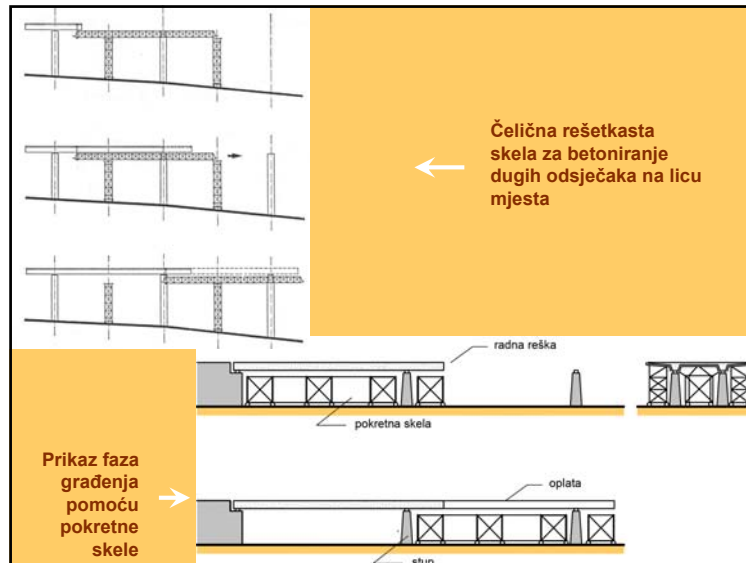


← Skela i Most Perolles na rijeci Saane, Freiburg (1920.-1922.)

Pogled na skelu mosta Salginatobel, i sam Most →







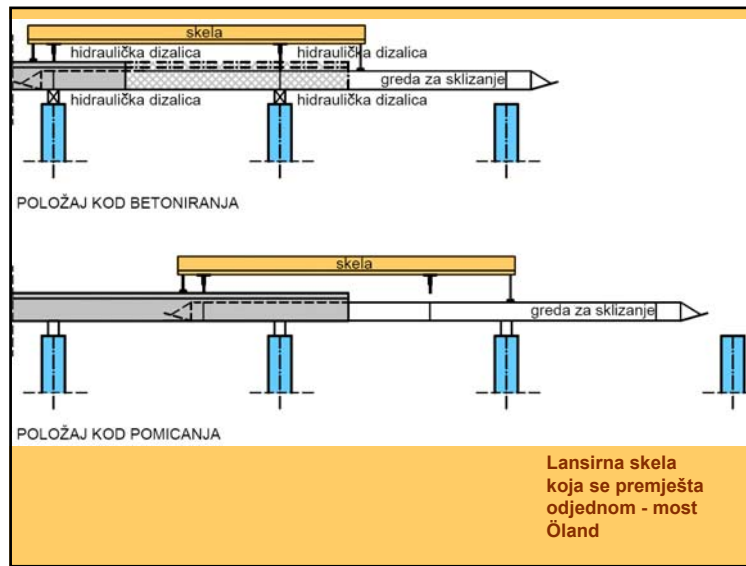
Izvedba mostova pomoću lansirnih skele

Gredni mostovi velikih dužina, kad je tlo neravno, a most visoko uzdignut iznad tla, izvode se pomoću čeličnih lansirnih skele betoniranjem polje po polje. Ovim postupkom izvode se mostovi do cca 50 m raspona, jer s povećanjem raspona znatno raste cijena lansirnih skele.

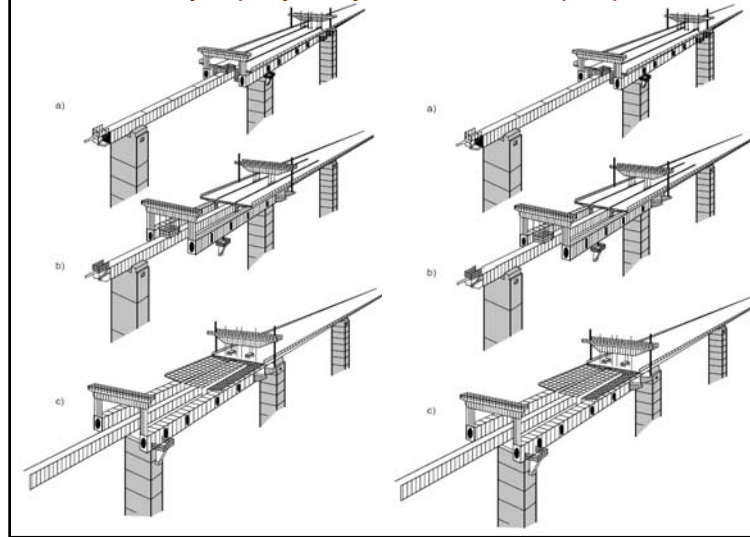
Lansirne se skele oslanjaju u pravilu samo na stupove mosta, a iznimno se u jednom većem rasponu mogu osloniti i na privremeni stup. U svijetu je razvijen i patentiran veliki broj različitih sustava lansirnih skele, ali se svi općenito zasnivaju na dva principa rada:

- skela se u slijedeće polje premješta (lansira) u dijelovima,
- skela se u slijedeće polje premješta (lansira) odjednom.

Izrada jednog polja obično traje dva tjedna. Prednost rebrastih poprečnih presjeka naspram sandučastih, je u tome da se čitava oplata može premjestiti skupa sa skelom, dok se kod sanduka unutrašnja oplata mora posebno transportirati, čime se značajno povećavaju troškovi.



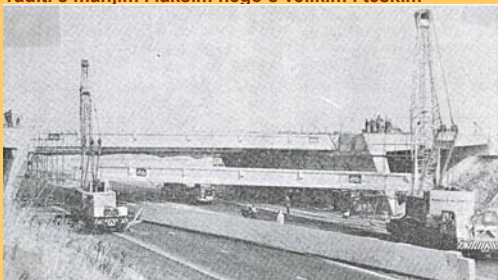
Lansirna skela koja se premješta odjednom - most Ōland – princip rada



Izvedba polumontažnih mostova pomoću dizalica

Postavljanje polumontažnih i montažnih rasponskih nosača može se vrlo jednostavno izvesti raznim vrstama dizalica. Ova tehnika izvedbe mostova spada u postavljanje prefabriciranih dugih elemenata. Najjednostavniji tehnološki proces predstavlja montiranje nosača s tla, ali se on može provesti samo u slučaju kada most ima nisku niveletu i kad je tlo pod mostom ravno. Uporabom dvije ili više dizalica koje simultano dižu rasponske nosače nije ograničena veličina ni težina nosača, iako je, dakako, znatno lakše raditi s manjim i lakšim nego s velikim i teškim nosačima.

Postavljanje
montažnih
nosača nekog
grednog
nadvožnjaka uz
pomoć dviju
auto dizalica



Montiranje rasponskog sustava nekog čeličnog grednog mosta s pomoću dizalica – kratki segmenti montiraju se na pomoćnu skelu

Ako za montiranje nosača koristimo dizalicu koja se kreće po mostu, tj. onom dijelu mosta koji je izgrađen, tada postupak montaže ne ovisi o dubini uvale koja se premošćuje. No ovakvim se načinom mogu graditi samo mostovi manjih otvora, jer je dužina kraka dizalice, kao i njena nosivost ograničena.

Kada se most gradi nad vodom (rijeka, jezero, more), a visina uzdizanja mosta nad vodom nije velika, tada se za montiranje nosača mogu koristiti i plovne dizalice.

Također vrlo često se rabe kombinirani postupci s više dizalica, ili postupci kojima se polumontažni komadi dopremaju na lice mjesta maonama, a zatim podižu i montiraju dizalicama s mosta (Dubrovački most).



Prikaz postavljanja montažnih nosača s pomoću dizalice koja se kreće po mostu. Rasponi mosta oko 13 m



Montiranje rasponske konstrukcije nekog čeličnog grednog mosta preko privremene čelične skele, dizalicom sa samog mosta



Montiranje rasponskog sustava nekog grednog mosta s pomoću dizalica oslonjenih na stupove



Montiranje rasponske konstrukcije nekog čeličnog grednog mosta preko privremene čelične skele, dizalicom sa samog mosta



Ponekad se kompletni most može napraviti u radionici ili na samom gradilištu, te montirati u konačni položaj.

Transport nosača nekog mosta rijekom



Montiranje rasponskog nosača mosta Øresund plovnom dizalicom



Montiranje kompletnog rasponskog sustava nekog mosta

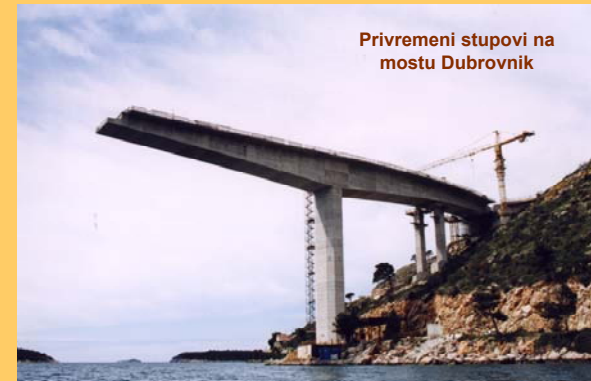


Most Firth of Fort, Škotska – montiranje središnjeg raspona



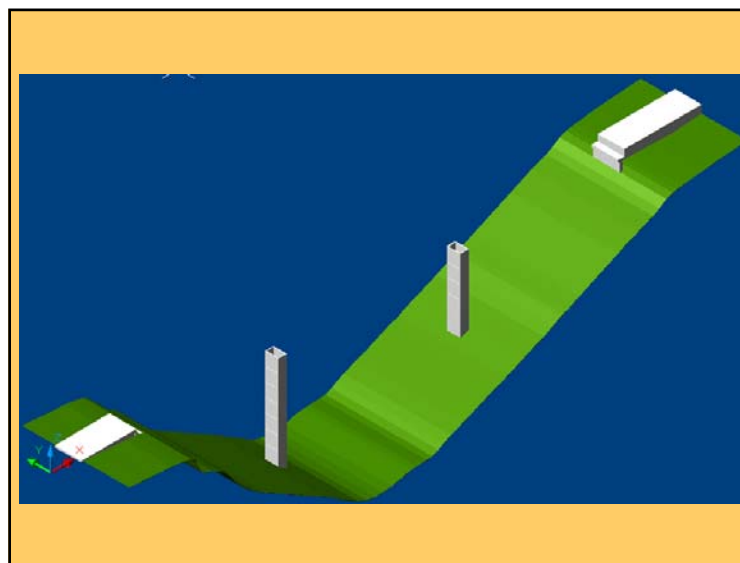
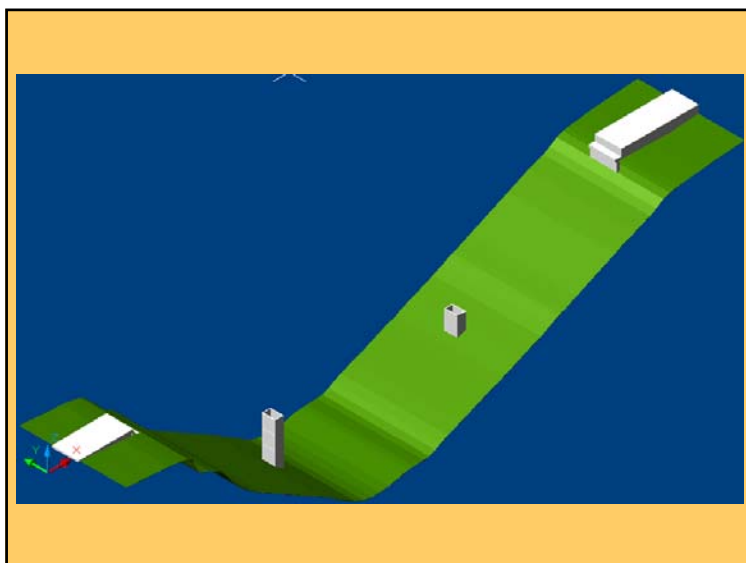
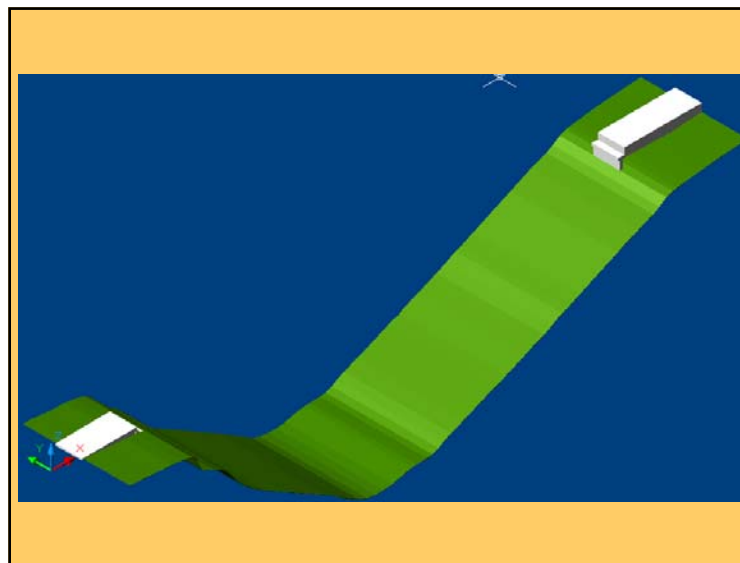
Pomoćna skela ili privremeni stupovi

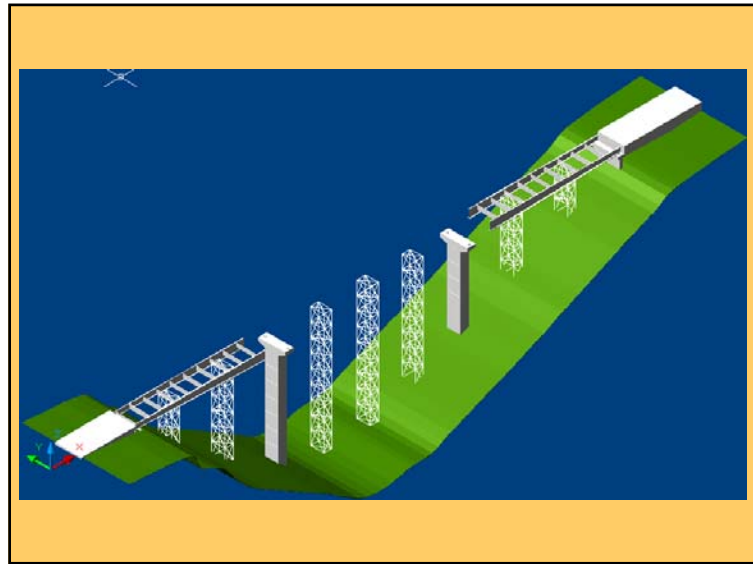
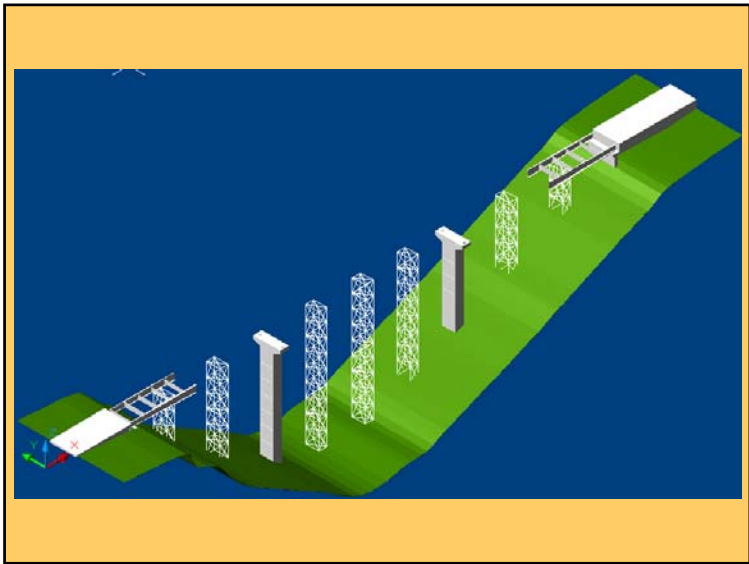
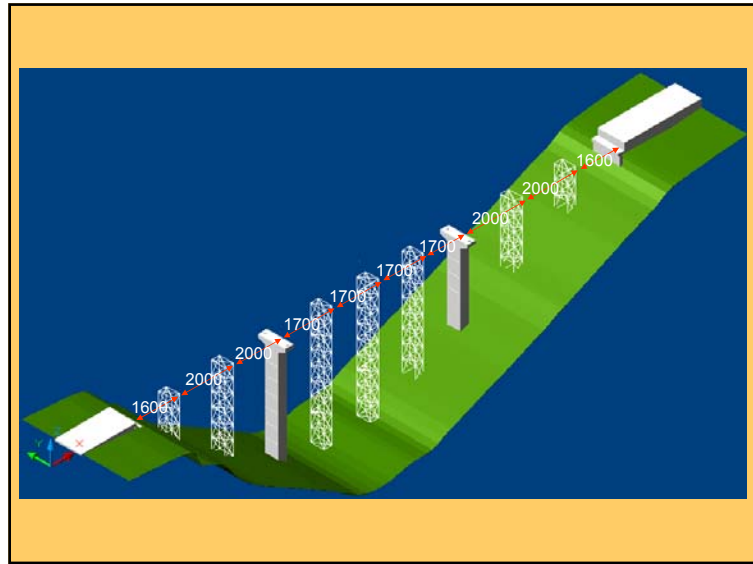
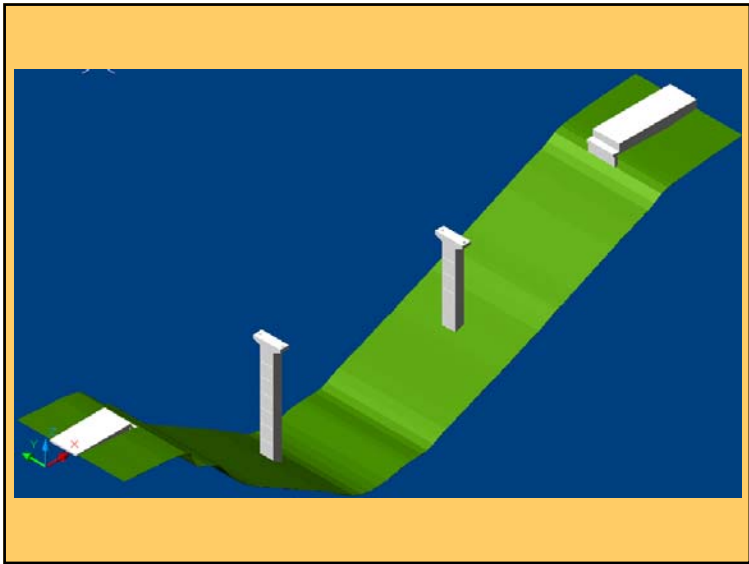
Vrlo često se pri montaži ili betoniranju dugih odsječaka, koristi pomoćna skela ili privremeni stupovi koji omogućavaju lakše montiranje, a istovremeno smanjuju statičke utjecaje.

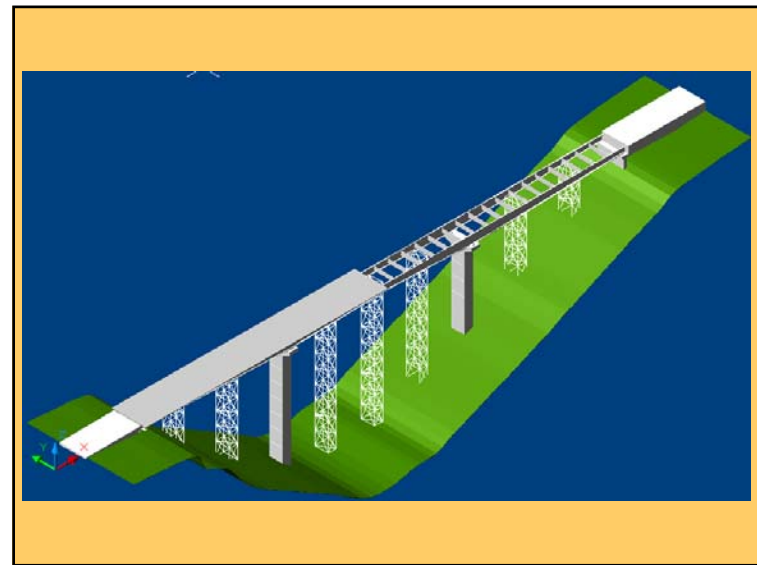
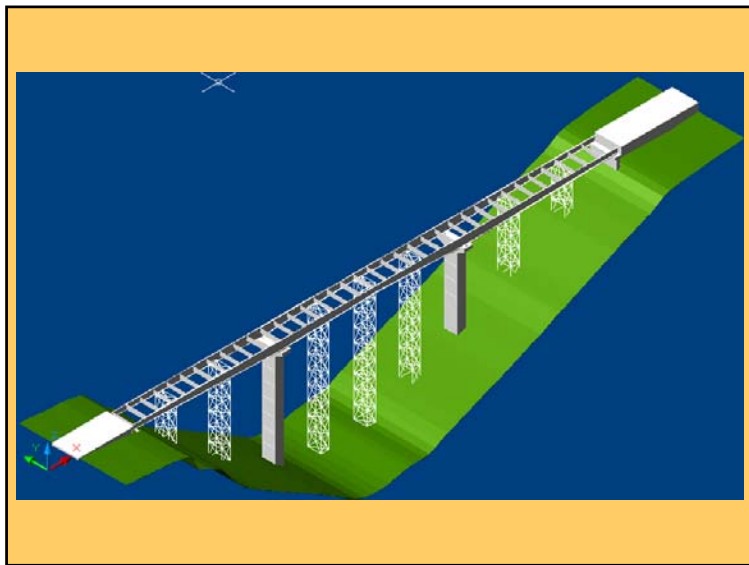
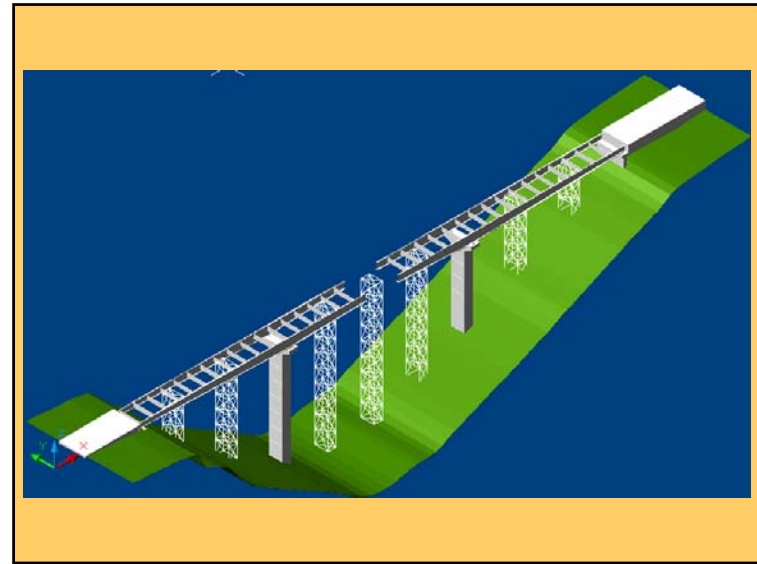
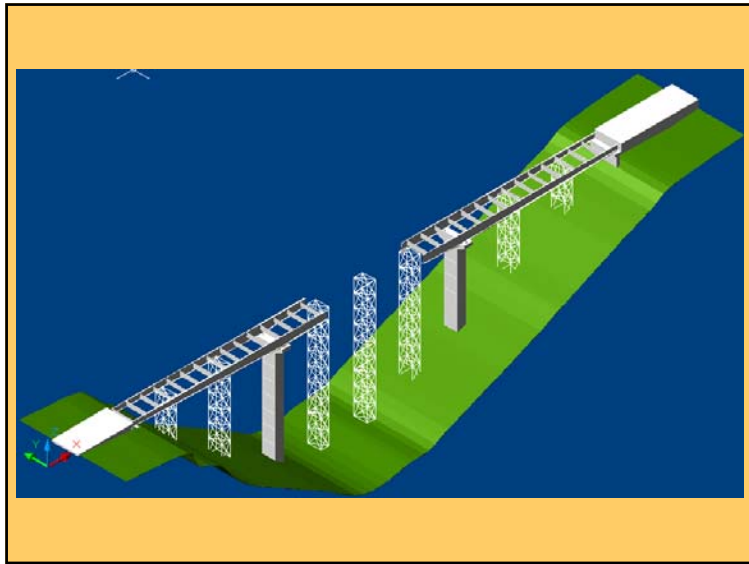


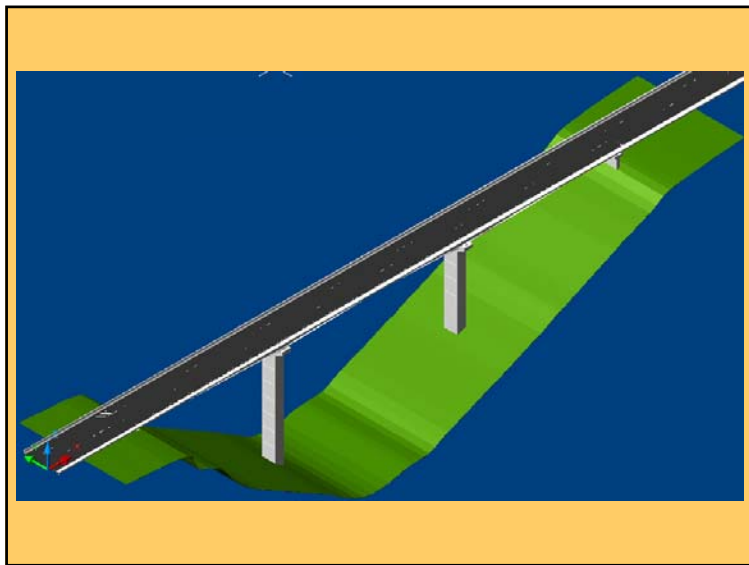
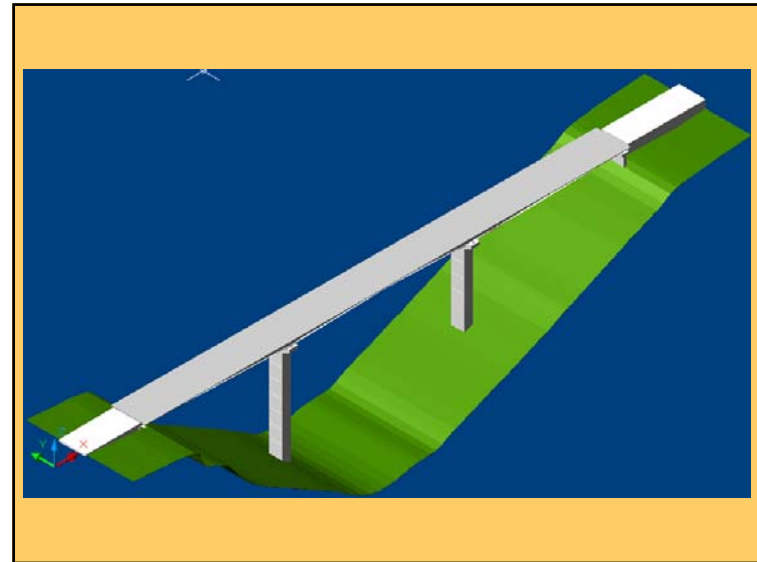
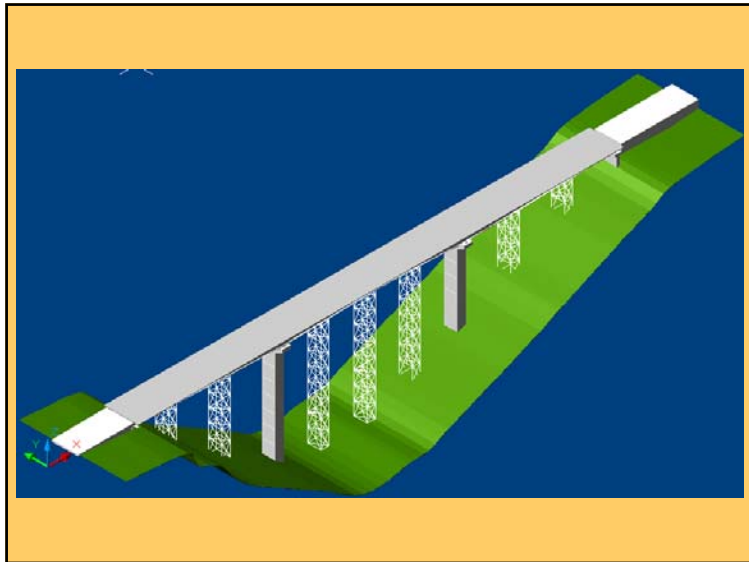
Privremeni stupovi na mostu Dubrovnik

Prikaz faza izrade čeličnog grednog mosta oslanjanjem na privremene stupove

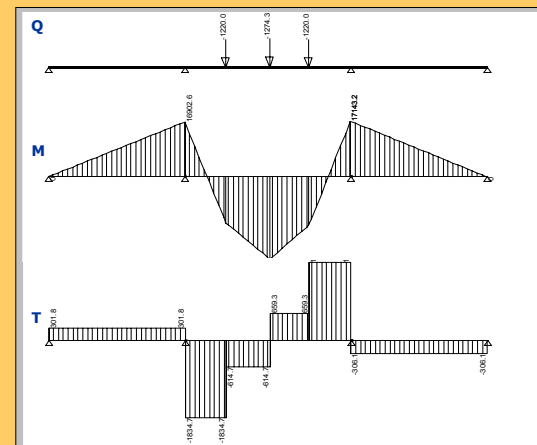








**Kod mostova s privremenim osloncima nikako zaboraviti vratiti u sustav sile koje su nam ostale na osloncima!
Opterećenje otpuštanjem oslonaca u drugom polju:**





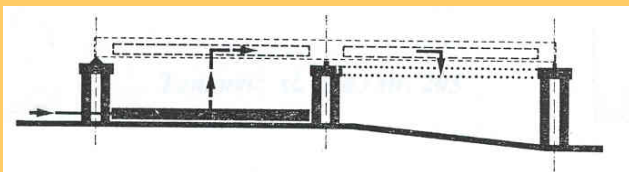
Montiranje glavnih nosača grednog mosta preko privremene čelične skele



Montiranje glavnih nosača grednog mosta preko privremene čelične skele

Izvedba mostova pomoću lansirnih prenosila ^{1/2}

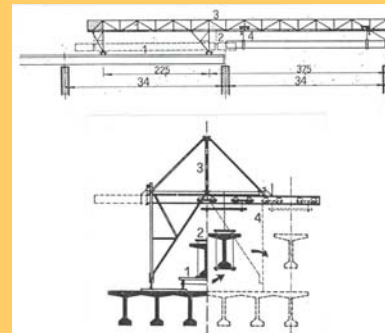
Jedan od vrlo često korištenih načina montiranja prefabriciranih rasponskih nosača koji sežu od jednog do drugog stupa mosta je montaža pomoću lansirnih prenosila - lansirki. Ovaj postupak je naročito pogodan za izradu mostova kojima je glavni nosači prednapregnuti rebrasti nosači. Lansirke su najčešće čelične rešetkaste konstrukcije, ukupne dužine veće od dva polja mosta. Na njima se nalaze električna vitla pomoću kojih se element pomiče uzduž lansirke. Princip rada jednog lansirnog prenosila vidljiv je na slici. Kod ovog prenosila između dva stupa je ostavljena šupljina kroz koju se podiže montažni dio, koji se zatim prenosi uzduž prenosila i montira u konačni položaj.



Češći način rada je da se dio doprema po gotovom dijelu konstrukcije, prihvaća uređajem, te uzdužno transportira nad otvor mosta u kojem se trenutno montiraju nosači. Kad stigne nad otvor prihvaćaju ga vješaljke za poprečno smještanje. Takvim uređajem dostupan je svaki položaj na mostu, a čitav proces radova odvija se na vrhovima stupova te tako ne ovisimo o prilikama ispod mosta.

Ovakav sustav prenosila danas se smatra najsuvremenijim i postoje prenosila koja mogu prenijeti nosače mase i do 400 t.

Sličnih postupaka u praksi građenja mostova ima mnogo i razlikuju se više u formama pomoćnih uređaja nego u postupcima. Stanovite razlike među njima odnose se na način prihvaćanja elementa, kako se element prenosi duž prenosila, da li je uređaj širok koliko i rasponski sklop ili je uzak, pa se može premješati u poprečnom smjeru i sl.



Primjer lansirnog prenosila na mostu Dabar



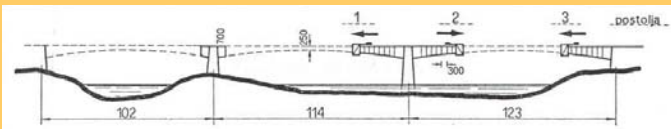
Izvedba mostova slobodnim konzolnim postupkom

Konzolni postupak se, prema njemačkom izvorniku: "Freivorbau", naziva još i slobodnom gradnjom. Za građenje nosivih sklopova po ovom postupku koriste se jedna ili više pokretnih radionica u kojima se izrađuje dio po dio konstrukcije. Pri tome se može graditi betoniranjem na licu mjesta ili postavljanjem kratkih montažnih komada. Ovim načinom mogu se graditi i lukovi i grede.

Kod konzolnog načina gradnje izrazito dugih vijadukata razvile su se i specijalne radionice koje napreduju po vrhovima stupova i izrađuju dio po dio, ili cjelovitu rasponsku konstrukciju između stupova. Takve pokretne radionice mogu biti zatvorene, tako da je rad neovisan o vremenskim prilikama. Jedan takav uređaj prikazan je na slici.



Vrlo je korisno konzolni postupak vršiti istodobno (simetrično) s obje strane stupa. Za takav postupak gradnje je uvriježen naziv "balansni postupak". Shematski prikaz napredovanja gradnje u konzolnom postupku (balansnom postupku) prikazan je na slici, na primjeru mosta u Koblenzu.



Balansni postupak gradnje - primjer most u Koblenzu

KONZOLNA GRADNJA

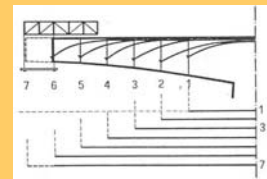
→ Betoniranje sektora na licu mjesta

→ Montiranje konzolnih sektora

Betoniranje sektora na licu mjesta

Pri tom konzolnom postupku građenje počinje na unaprijed dovršenim stupovima, tako da postupno nastaju konzolni dijelovi prikladno pričvršćeni za stup. Upeta veza grede i stupa može ostati trajno, ali se i veza sa stupom, kada je most gotov može pretvoriti u ležaj, pomični ili nepomični. Prema tome, konačni sustav nosača može biti i kontinuirana greda.

Dakle, radovi teku sljedećim slijedom. Na vrh stupa se postavi skela i oplata za jedan kraći sektor, taj sektor se betonira i pritegne prednapetim kablovima. Na taj ležajni sektor nastavljaju se, konzolno s obje strane stupa kratka postolja u kojima se postupak ponavlja s određenom oplatom. Konzolni sektori vežu se međusobno mekom armaturom i prednapetim kablovima, a eventualno lijepljenjem epoksidnim malterima



Prikaz nastajanja konzolnog sklopa



Shematski prikaz konstrukcija pokretnih postolja za konzolno građenje



Primjer slobodne konzolne gradnje (balansni postupak) na mostu Dubrovnik



Primjer slobodne konzolne gradnje (balansni postupak) na mostu Weidatal



Most Donau



Most na autocesti blizu Praga



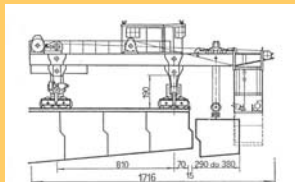
Primjer slobodne konzolne gradnje dijela luka lučnog mosta Kashirajima, Japan
Prvi dio luka se betonira u sektorima na licu mjesta i i pridržava za stup.
Središnji dio luka se montira plovnom dizalicom.



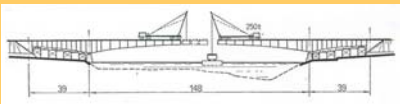
Primjer pridržanja luka privremenim zategama
Konzolna gradnja
Most preko rijeke Krke

Montiranje konzolnih sektora

Pojedini dijelovi rasponskog sklopa ili luka mogu se izraditi izvan mosta te konzolno ugraditi na svoja mjesta u mostu. Veza takvih komada obično se vrši potpunim unutarnjim ili vanjskim prednaprezanjem.

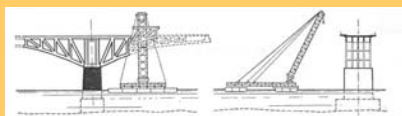


Montažni uređaj sa gradnje mosta na rijeci Don u Rostovu



Postavljanje konzolnog sklopa uz pomoć derrick dizalice

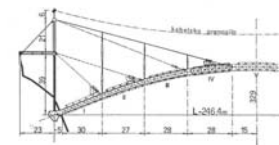
Prikaz postavljanja montažnih komada pomoću posebnog prenosila



Prikaz montiranja rešetkastog konzolnog sklopa uz pomoć plovne dizalice

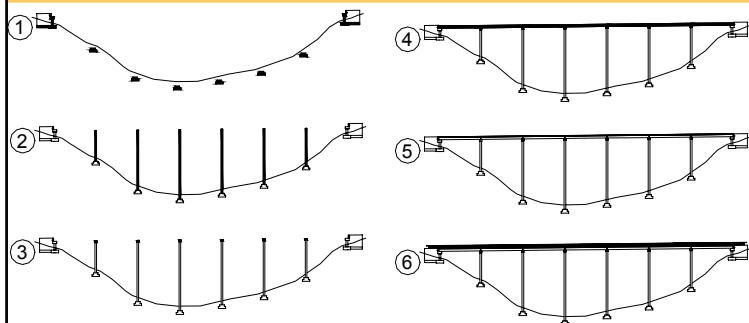
Statička razmatranja

Prilikom konzolne izvedbe nosač prolazi kroz razne statičke faze. Tokom građenja je čista konzola (što je statički izrazito nepovoljno), dok u konačnici prelazi u gredni, lučni ili okvirni sustav (što predstavlja statički povoljnije stanje). Zbog toga se prilikom gradnje nastoji ublažiti statički nepovoljne utjecaje, pa se vrši pridržavanje cjelokupnog sustava. Pridržavanje sustava može se vršiti postavljanjem kosih zatega preko privremenog stupa. Ovakav sustav primijenjen je kod nas prvi put na Šibenskom mostu, te na Paškom, Masleničkom i mostu preko Krke gdje je svugdje korišten za izradu luka.

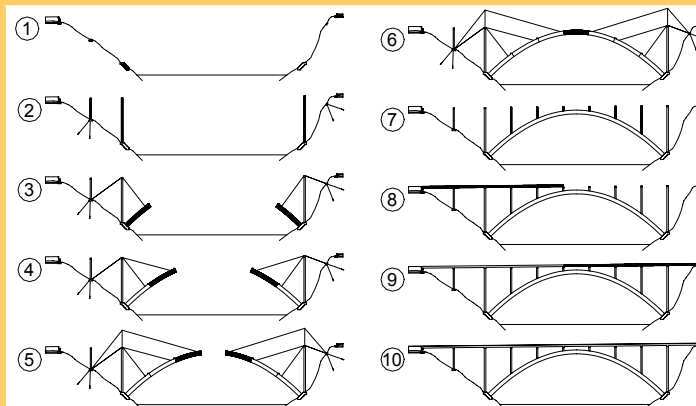


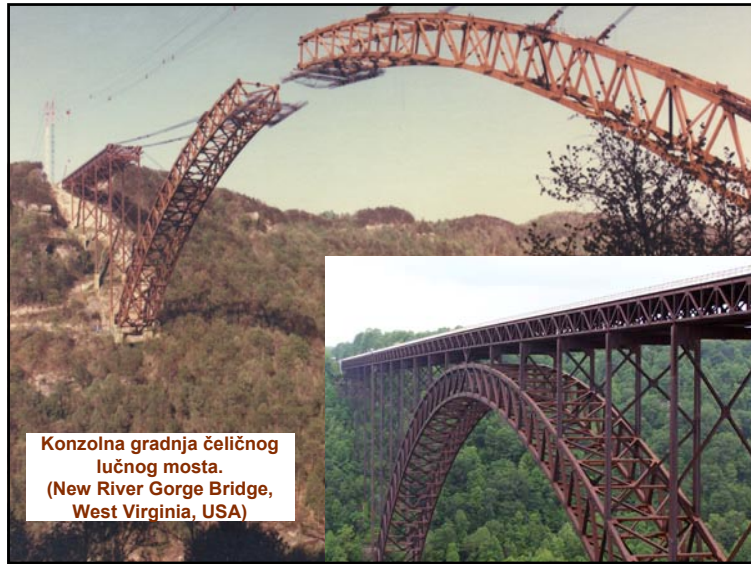
Konzolni postupak s kosim zategama primijenjen na Šibenskom mostu

Statička razmatranja – faze izvedbe grednog mosta



Statička razmatranja – faze izvedbe lučnog mosta

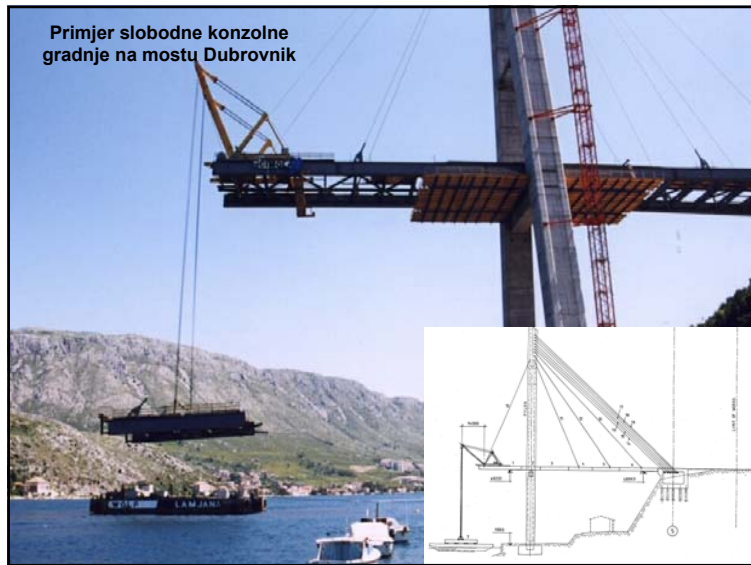




Konzolna gradnja čeličnog lučnog mosta.
(New River Gorge Bridge,
West Virginia, USA)



Izvedba rasponske konstrukcije nekog lučnog mosta s podizanjem montažne rasponske konstrukcije vitlima okačenima na luk



Primjer slobodne konzolne gradnje na mostu Dubrovnik



Pridržavanje sustava također se može vršiti obrazovanjem privremene rešetke. Ovaj postupak vuče porijeklo iz građenja čeličnih mostova, a primjenjuje se za izgradnju lučnih mostova najvećih raspona. Kod nas se koristio pri izgradnji Krčkog mosta.

Gornji pojas i dijagonale rešetke su vlačni elementi (sastoje se od krutih čeličnih profila i prednapetih kabela) i sidre se u stijenu prednapetim sidrima. Luk i stupovi predstavljaju tlačne elemente.

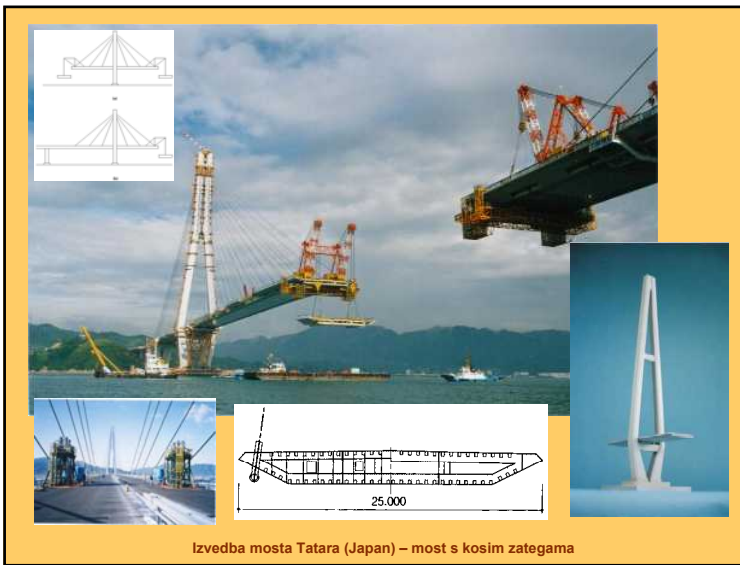
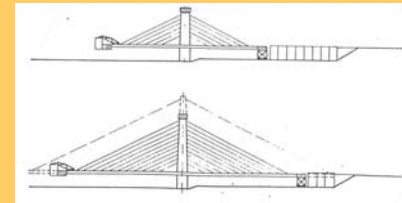
Konzolni postupak s obrazovanjem privremene rešetke na Krčkom mostu

Mješoviti postupak: Slobodna konzolna gradnja dijela luka pri osloncima s montiranjem središnjeg dijela luka.



Konzolni postupak s kosim zategama preko pomoćnog stupa

Konzolni sustav se dominantno primjenjuje za gradnju ovješnih mostova. Pri gradnji se izvedeni konzolni sektori direktno pridržavaju kosim užadima ili vješaljkama.



Izvedba mosta Tataru (Japan) – most s kosim zategama



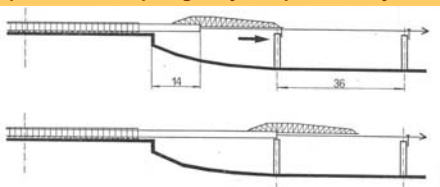
Izvedba mosta s kosim zategama, pri čemu se rasponska konstrukcija pri izvedbi oslanja na privremene stupove

Izvedba mostova postupkom navlačenja (potiskivanja)

Čitavu rasponsku konstrukciju ili pojedine njezine sektore možemo izraditi na obali, a zatim ih uzdužno premještati na njihova konačna mjesta na mostu.

Ovisno o tome da li se konstrukcija sustavom užadi i vitala navlači, ili se sustavom preša gura na svoje mjesto govorimo o postupku navlačenja ili potiskivanja.

Tehnološki proces je sljedeći: iza upornjaka betonira se dio rasponske konstrukcije dužine 10-30 m ($1/4 - 1/2$) u posebno konstruiranoj oplati. Nakon otvrdnjavanja betona obavlja se prednaprezanje i potom se konstrukcija preko teflonskih ležajeva potiskuje naprijed pomoću hidrauličkih preša. Na čelu prvog odsječka pričvršćen je čelični kljun.



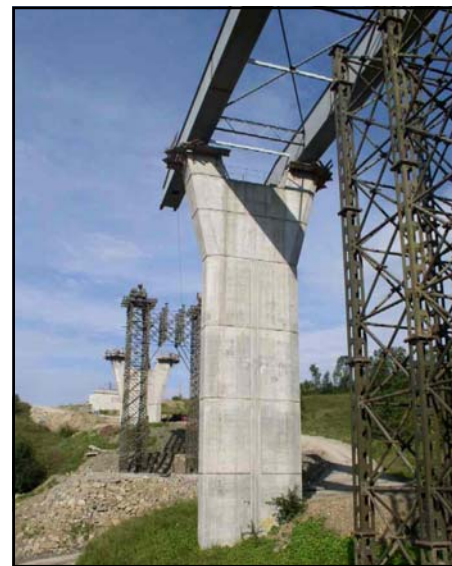
Sljedeći odsječak betonira se izravno na stražnje čelo prethodnog, a armatura prolazi kroz radnu rešku. Postupak se ponavlja po taktovima, koji u pravilu traju tjedan dana. Kad je konstrukcija u konačnom položaju prednapinju se kabeli za uporabno opterećenje. Kontinuitet odsječaka se postiže mekanom i prednapetom armaturom.

Iako je postupak prikladan za gredne sklopove, u praksi je bio primijenjen i za neke drugačije sustave nosača. Postupak je racionalan za mostove dužine veće od 150 m i s najmanje 3 polja. Rasponi se mogu kretati od 30 do 140 m, ali se ne smiju međusobno znatno razlikovati. Ako je razlika u rasponima velika, tada se izvode privremeni stupovi koji se nakon izvedbe cjelokupne konstrukcije ruše, ili se na konstrukciji izvodi pomoćni stup (pilon) s kosim zategama.

Ovaj postupak primjenjiv je, osim za mostove u pravcu i za mostove s konstantnom horizontalnom zakrivljenošću (mostovi u kružnim krivinama). Iako je najjednostavnije izvoditi mostove konstantnog poprečnog presjeka, postoje patenti po kojima se ovim postupkom mogu izvoditi i mostovi promjenjivog poprečnog presjeka.



Prikaz uređaja za pomicanje rasponskog sklopa smještenog na jednom stupu

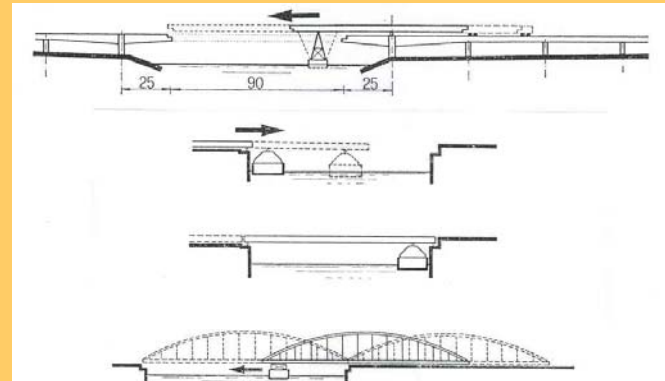


Naguravanje čelične rasponske konstrukcije nekog grednog mosta preko osnovnih i privremenih stupova

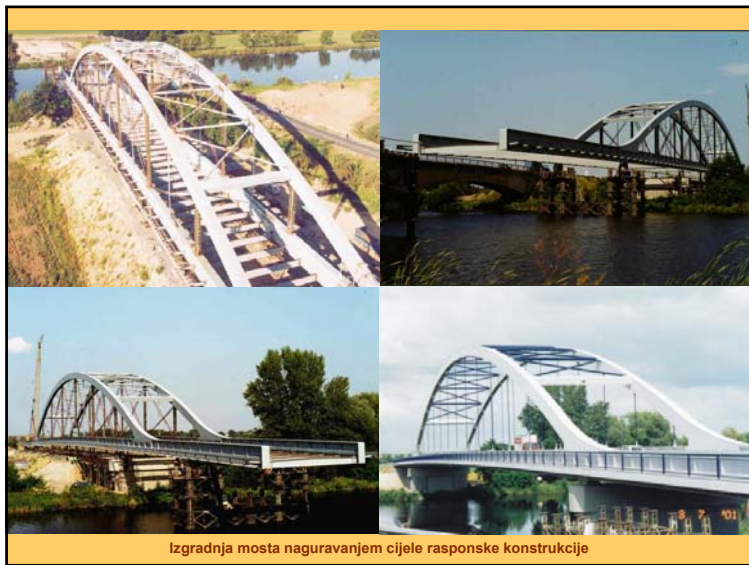


Naguravanje čelične rasponske konstrukcije nekog grednog mosta preko osnovnih i privremenih stupova

Uzduno premještanje može se primijeniti i na mjestima gdje se ispod mosta nalazi voda, tako da konstrukciju oslonimo na plovilo. Tako se mogu prenositi i vrlo teški dijelovi, a mogu se premještat i cjelokupne konstrukcije



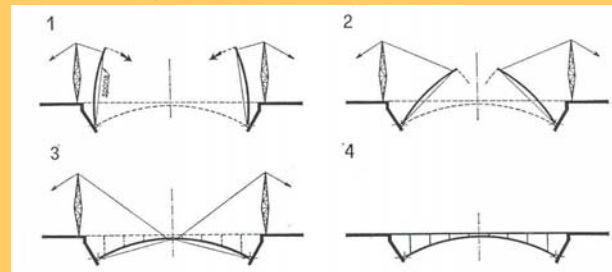
Razne mogućnosti uzdužnog premještanja rasponske konstrukcije pomoću plovila



Izgradnja mosta naguravanjem cijele rasponske konstrukcije

Izvedba lukova postupkom zakretanja

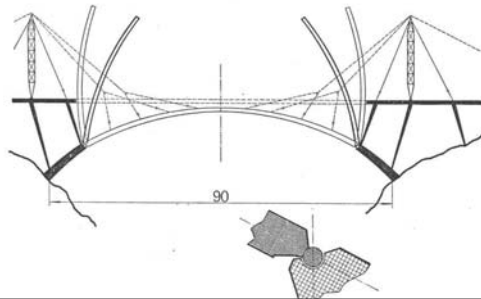
Lukovi mostova mogu se izraditi na obali, ili izvesti na licu mjesta u vertikalnom položaju, pa se zatim zakretanjem dovesti u definitivni položaj. Postupak s vertikalnim zakretanjem pogodan je za mostove s jednim ili više otvora, nad kojim tada sastavljamo nosivi sklop od polulukova. Pošto su polulukovi u fazi montaže prihvaćeni kao konzole, potrebno ih je ispravno proračunati za tu fazu. Zglob koji služi pri zakretanju u konačnici se može ostaviti (dvo i troglobni lukovi) ili monolitizirati (upeti lukovi).



Prikaz postavljanja luka uz zaokretanje u vertikalnoj ravnini

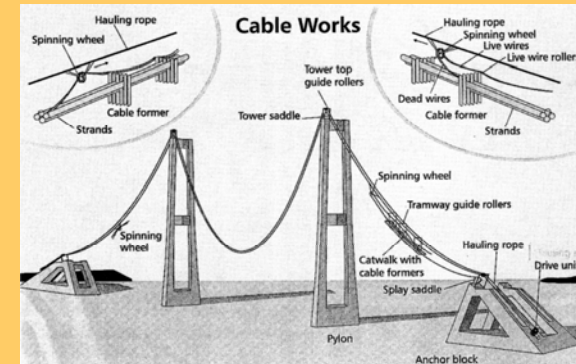


Most na Strom River, Južna Afrika u građenju

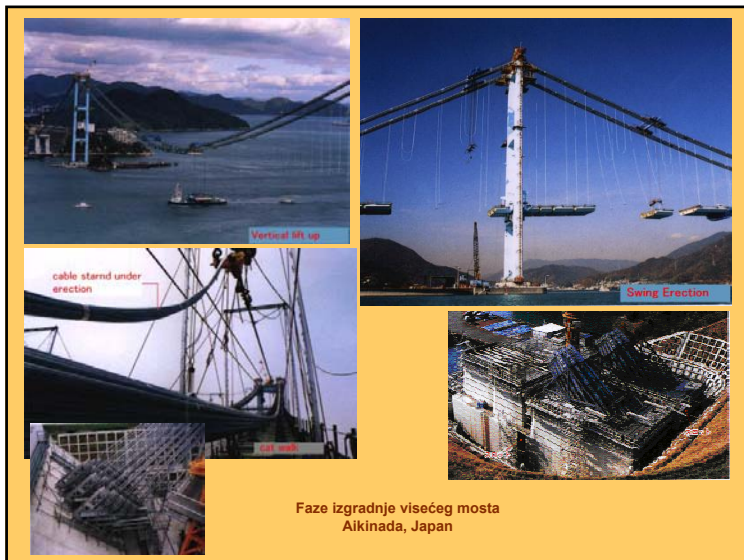


Izvedba visećih mostova

Viseći mostovi se uobičajeno rade na način da se izgradi pylon, prebaci nosivo uže preko njega, te na nosivo uže vješaju vješaljke i kolovozna konstrukcija.



Princip postavljanja užeta na viseći most



Faze izgradnje visećeg mosta Akikinada, Japan

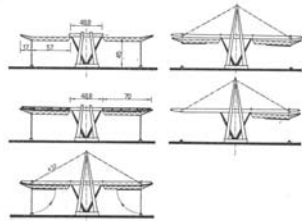


Faze izgradnje visećeg mosta Akashi Kaikyo, Japan

Građenje mostova...

Dakako da opisanim načinima nisu iscrpljene sve mogućnosti građenja mostova. Neki postupci građenja predstavljaju originalna rješenja koja su iskorištena samo na jednom mostu i nikad više. Takvi postupci nisu predmet ovih zapisa, i o njima nije bilo riječi.

Dakako da nije moguće dati ni najbolji postupak građenja. Za svaki most on je svojstven samo njemu i jedino inženjerska ingenioznost i pravilan način razmišljanja mogu inženjera dovesti do optimalnog načina gradnje.



Most Maracaibo, Venezuela, prikaz građenja

Rušenje mostova

Tokom povijesti izgradnje mostova dogodio se i niz slučajeva rušenja mostova. U nastavku su nabrojani samo neki specifični, s uzrocima nesreće.

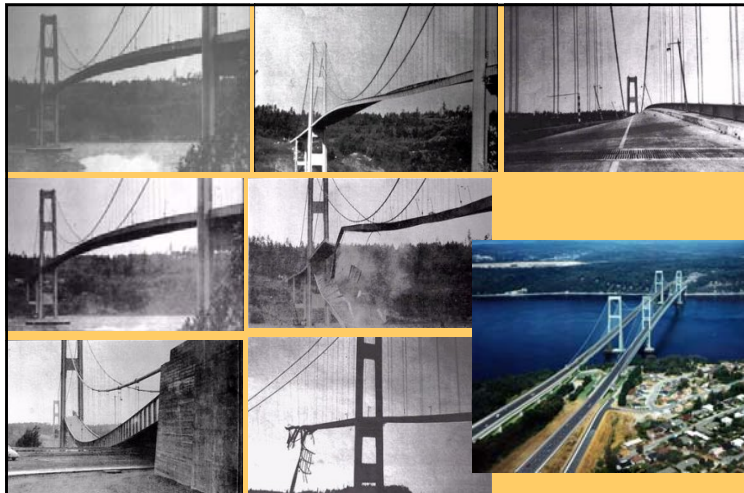


Broughton Suspension Bridge, Engleska.

Srušio se nakon što je vojska prešla preko njega strojevim korakom, 1831.

Vjerojatni uzrok je greška u proračunu.

20 ozlijeđenih.



Tacoma Narrows Bridge: Washington, USA

Uzrok rušenja je rezonantno djelovanje vjetra od 67 km/h, 1940.; 0 poginulih

GALE CAUSES
BRIDGE
TO SWAY



Second Narrows Bridge, Vancouver, Kanada
 Uzrok rušenja je greška u proračunu glavnih nosivih elemenata, 1958.
 19 poginulih i 79 ozlijeđenih.
 Nanovo izgrađen.



Silver Bridge, između: Point Pleasant, West Virginia i Kanauga, Ohio, USA
 Uzrok rušenja je greška u materijalu i korozija, 1967.
 46 poginulih i 9 ozlijeđenih.
 Inspirirao knjigu i film: "Mothmanovo proročanstvo"



Cypress Street Viaduct, Oakland, California United States
 Srušio se tokom potresa, 1989.
 42 poginula.



Nadvožnjak, Kobe, Japan
 Srušio se tokom potresa, 1995.
 Nakon ovog potresa Japan je značajno
 izmijenio svoje propise o gradnji u
 seizmičkim područjima



Queen Isabella Causeway, Port Isabel i South Padre Island, Texas, USA
4 natovarene maone udarile su u stup mosta uzrokujući djelomično rušenje rasponske konstrukcije mosta, 2001.
8 poginulih.
Rušenje mosta imalo je ozbiljne ekonomske posljedice jer su preko mosta prelazila vodoopskrba i elektro napajanje otoka. Obnova je koštala 5 mil. \$.



I-40 most, Webbers Falls, Oklahoma, USA
Maona je udarila u stup mosta uzrokujući djelomično rušenje, 2002.
14 poginulih.



Big Springs, Nevada, USA
Vozač kamiona je izgubio kontrolu nad vozilom, te se zabio u stup nadvoznjaka. 2003.



Can Tho Bridge, Vijetnam
Izvijanje dijela presjeka tijekom izgradnje. Istraga još traje. 2007.
60 poginulih.