



Sveučilište u Splitu
GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI
FAKULTET

Katedra za betonske konstrukcije i mostove

Kolegij: Mostovi

Split, 2008.

SADRŽAJ

▶ 1. Uvod	
▶ 2. Opći podaci o mostovima	
2.1 OPĆI POJMOVI	
2.2 NAZIVI DIJELOVA MOSTA	
2.2.1 Donji ustroj mosta	
2.2.2 Gornji ustroj mosta	
2.3 PODJELA MOSTOVA	
2.3.1 Vrste mostova	
2.3.1.1 Vrste mostova po svrsi ili po prometu na njima	
2.3.1.2 Vrste mostova po mjestu položaju i vrsti zapreke	
2.3.1.3 Vrste mostova po njihovom prometnom značenju	
2.3.1.4 Vrste mostova po veličini njihova otvora	
2.3.1.5 Vrste mostova po njihovoj projektiranoj trajnosti	
2.3.1.6 Vrste mostova po fiksности	
2.3.1.7 Vrste mostova prema načinu oslanjanja nosivog sklopa	
2.3.1.8 Vrste mostova prema oblikovnim stilovima	
2.3.2 Tipovi mostova	
2.3.2.1 Tipovi mostova po uzdužnom rasporedu otvora	
2.3.2.2 Tipovi mostova po obliku nivelete	
2.3.2.3 Tipovi mostova po položaju kolnika	
2.3.2.4 Tipovi mostova po tlocrtnom položaju i obliku	
2.3.2.5 Tipovi mostova po pretežnom gradivu glavnog sklopa	
2.3.2.6 Tipovi mostova prema načinu izrade glavne konstrukcije	
2.3.2.7 Tipovi mostova prema tipu nosive konstrukcije	
2.3.2.8 Tipovi mostova prema načinu prijenosa sila s konstrukcije mosta na temeljno tlo.	
2.3.2.9 Tipovi mostova prema obliku pojasa glavnog sklopa	
▶ 3. Uvjeti za projektiranje i izvedbu mostova	
3.1 ZAHTJEVI NA MOSTOVE	
3.1.1 Zahtjevi prometa	
3.1.2 Tehnički zahtjevi (sigurnost i mehanička otpornost)	
3.1.3 Zahtjevi ekonomičnosti	
3.1.4 Estetski zahtjevi	
3.1.5 Zahtjevi trajnosti	
3.1.6 Ekološki zahtjevi	
3.2 POTREBNE PREDRADNJE	
3.3 IZBOR MJESTA I POLOŽAJA	
3.3.1 Ugao prijelaza	
3.3.2 O izboru pravca	
3.4 IZBOR NIVELETE	
3.4.1 Visinski odnosi	
3.4.2 Odnosi odlučni za ocjenu vrijednosti nivelete	
3.4.3 Osnovni oblici nivelete	
3.5 TEMELJENJE	
3.6 SLOBODNI PROFILI	
3.6.1 Slobodni profili za popravke i održavanje mostova	
3.6.2 Slobodni profili za pješake	
3.6.3 Slobodni profili za cestovna vozila	
3.6.4 Slobodni profili za željeznicu	

► 4. Nosivi sklopovi konstrukcija mostova	
4.1	GREDNI MOSTOVI
4.1.1	Proste grede
4.1.2	Proste grede s pločama za kontinuitet
4.1.3	Proste grede s prepustima
4.1.4	Grede sa zglobovima
4.1.5	Kontinuirane grede
4.1.6	Konzolne grede
4.1.7	Grede sa stolovima
4.2	OKVIRNI MOSTOVI
4.2.1	Okviri s jednim poljem
4.2.1.1	<i>Trozglobni okviri</i>
4.2.1.2	<i>Dvozglubni okviri</i>
4.2.1.3	<i>Upeti okviri</i>
4.2.1.4	<i>Zatvoreni okviri</i>
4.2.1.5	<i>Elastično upeti okviri</i>
4.2.2	Okviri s dva polja
4.2.3	Okviri s tri polja
4.2.3.1	<i>Okviri s kratkim krajnjim profilima i uspravnim stupovima</i>
4.3	LUČNI MOSTOVI
4.3.1	Upeti lukovi
4.3.2	Dvozglubni lukovi
4.3.3	Trozglobni lukovi
4.3.4	Elastično upeti lukovi
4.3.5	Lukovi sa zategom
4.3.6	Nielsenov luk
4.3.7	Mostovi s lučnim zidovima
4.3.8	Hennebiqueovi lukovi
4.3.9	Lukovi s preuzetim potiskom
4.4	VIŠEĆI I OVJEŠENI (ZAUZDANI) MOSTOVI
4.4.1	Ovješeni mostovi
4.4.2	Viseći mostovi
► 5. Dijelovi mostova	
5.1	UVOD
5.2	KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA
► 6. Građenje mostova	
6.1	UVOD
6.2	OPĆI POSTUPCI GRADNJE
6.3	GRAĐENJE TEMELJA UPORNJAKA I STUPOVA
6.4	GRAĐENJE UPORNJAKA I STUPOVA
6.4.1	Izvedba stupova na licu mjesta
6.4.1.1	<i>Potpuna oplata</i>
6.4.1.2	<i>Sektorska oplata</i>
6.4.1.3	<i>Klizna oplata</i>
6.4.2	Izvedba polumontažnih i montažnih stupova
6.5	GRAĐENJE LUKOVA I RASPONSKE KONSTRUKCIJE
6.5.1	Općenito
6.5.2	Izvedba mostova na nepokretnim skelama
6.5.3	Dijelovi skele
6.5.4	Tipovi skela
6.5.4.1	<i>Drvene skele</i>
6.5.4.2	<i>Čelične skele</i>

6.5.5	Izvedba mostova na pokretnim skelama	
6.5.6	Izvedba mostova pomoću lansirnih skela	
6.5.7	Izvedba mostova pomoću dizalica	
6.5.8	Izvedba mostova pomoću lansirnih prenosila	
	6.5.9.1 <i>Betoniranje sektora na licu mjesta</i>	
	6.5.9.2 <i>Montiranje konzolnih sektora</i>	
	6.5.9.3 <i>Statička razmatranja</i>	
6.5.10	Izvedba mostova postupkom navlačenja (potiskivanja)	
6.5.11	Izvedba lukova postupkom zaokretanja	
6.5.12	Nešto na kraju	

► 7. Oprema mostova

7.1	UVOD	
7.2	LEŽAJEVI	
	7.2.1 Općenito	
	7.2.2 Zglobovi	
	7.2.2.1 <i>Betonski zglobovi</i>	
	7.2.2.2 <i>Čelični zglobovi</i>	
	7.2.3 Armirani elastomerni ležajevi	
	7.2.4 Lončasti ležajevi	
	7.2.5 Ležajevi specijalne namjene	
	7.2.6 Raspoređivanje ležajeva na mostu	
	7.2.7 Proračun ležajeva	
7.3	OGRADE	
	7.3.1 Općenito	
	7.3.2 Metalne ograde	
	7.3.3 Betonske ograde	
	7.3.4 Ograde od kombiniranih materijala (metal-beton)	
7.4	RUBNJACI I ODBOJNICI	
7.5	RASVJETA	
	7.5.1 Rasvjeta u naslonu ograda	
	7.5.2 Nizovi niskih kandelabra	
	7.5.3 Svjetla obješena na razapetim užadima	
	7.5.4 Nizovi malih svjetiljaka	
	7.5.5 Rasvjeta na visokim stupovima	
	7.5.6 Rasvjeta ispod mosta	
7.6	KOLOVOZ	
	7.6.1 Kolovozi željezničkih mostova	
	7.6.1.1 <i>Provedena posteljica</i>	
	7.6.1.2 <i>Željeznički kolosjek bez posteljice</i>	
	7.6.1.3 <i>Kolosijek bez pragova</i>	
	7.6.2 Kolovozi cestovnih mostova	
	7.6.2.1 <i>Neposredni kolovoz</i>	
	7.6.2.2 <i>Tucanički kolovoz</i>	
	7.6.2.3 <i>Asfaltni kolovozi</i>	
	7.6.2.4 <i>Betonski kolovozi</i>	
	7.6.2.5 <i>Popločenja kolnika</i>	
	7.6.2.6 <i>Popločenja parkirališta</i>	
7.7	PRIJELAZNI UREĐAJI	
7.8	ODVODNJA	

► 8. Opterećenja mostova	
8.1	UVOD
8.2	PODJELA OPTEREĆENJA
8.2.1	Osnovna djelovanja
8.2.2	Dodatna djelovanja
8.2.3	Izvanredna djelovanja
8.3	ZAJEDNIČKI UTJECAJI VIŠE DJELOVANJA
8.4	STALNI TERET I VLASTITA TEŽINA NOSAČA
8.5	KORISNO (PROMETNO) OPTEREĆENJE
8.5.1	Cestovni mostovi
8.5.2	Pješački mostovi
8.5.3	Mostovi za željeznički i mješoviti promet
8.6	SILE OD PREDNAPREZANJA
8.7	DJELOVANJA ZBOG SKUPLJANJA (BUBRENJA) I PUZANJA MATERIJALA
8.8	TEŽINA VODOVA
8.9	TLAK TLA
8.9.1	Općenito
8.9.2	Vertikalni tlak tla
8.9.3	Aktivni tlak tla
8.9.4	Pasivni tlak tla
8.10	OPTEREĆENJE OD VODE
8.10.1	Djelovanje mirne vode (hidrostatičko djelovanje)
8.10.2	Djelovanje tekuće vode (hidrodinamičko djelovanje)
8.10.3	Uzgon
8.11	OPTEREĆENJA NA OGRADU MOSTA
8.11.1	Djelovanje ljudi na ogradu
8.11.2	Udar vozila
8.11.3	Ostala djelovanje na ogradu
8.12	DEFORMACIJE NASTALE KAO POSLJEDICA NAČINA GRADNJE
8.13	DJELOVANJE PROMJENE TEMPERATURE
8.13.1	Jednolika promjena temperature
8.13.2	Nejednolika promjena temperature
8.13.3	Montažna temperatura
8.13.4	Proračunsko značenje promjene temperature
8.13.5	Značenje promjene temperature za rješenja u konstrukciji
8.14	OPTEREĆENJE OD VJETRA
8.15	OPTEREĆENJE SNIJEGOM
8.16	OPTEREĆENJE LEDOM
8.17	OPTEREĆENJA VEZANA S KRETANJEM
8.18	UDARI VOZILA I PLOVNIH OBJEKATA
8.19	POTRES

1. UVOD

Most je građevina koja prevodi prometnice ili vod preko neke zapreke. Za mostovima je čovjek osjećao potrebu od kada postoji. Građenje mostova bilo je oduvijek, a i danas je, osobito područje graditeljstva. Mostovi mogu biti vrlo smjele građevine koje pobuđuju nezaboravan dojam prolaznika. Od pradavnih vremena, sudbina mostova isprepliće se sa sudbinom ljudi. Mnogi značajni događaji vezani su s mostovima, njihovom izgradnjom, postojanjem i rušenjem. Događaji oko mostova i oni sami mostovi inspirirali su poneke umjetnike, potakli legende i zanimljive priče običnih ljudi.

Razvoj građenja mostova nije tekao bez poteškoća. Dogodile su se mnoge katastrofe mostovima i njihovim graditeljima. Na sreću, neke velike nezgode dovele su do važnih otkrića korištenih u gradnji novih mostova. Profesija građenja mostova zahtjevno je i nemilosrdno zanimanje. Most ne gradi samo jedan čovjek, niti su u procesu građenja aktivni samo oni koji ga neposredno izrađuju.

Građenje mostova teklo je stoljećima svojim polaganim razvojem, pretežito na osnovi iskustva s već izvedenih objekata. U prvom razdoblju zadaci graditelja mostova ograničeni su na pješačke prijelaze i mostove. Pojava željeznice i razvoj brzog cestovnog prometa uvjetovali su izgradnju mostova velikih otvora i duljina, koji su trebali biti brzo sagrađeni. Graditeljstvo je te zadatke rješavalo novim gradivima i konstrukcijama raznolikih sustava i oblika. Stalni razvoj i zahtjevi cestovnog i željezničkog prometa nametnuo je potrebu čvrstog prijelaza često veoma širokih i dubokih vodenih prepreka. Suvremena tehnička i tehnološka postignuća u građenju mostova, uz ukupni gospodarski napredak, omogućili su da nekada želje o čvrstom prijelazu velikih usjeka, plovnih kanala, morskih tjesnaca, uvala, zaljeva i fjordova danas postanu stvarnost.

U tijeku je realizacija mnogih složenih projekata, troškovi kojih se iskazuju u milijardama USD, a u fazi planiranja i pripreme su i takvi grandiozni projekti o kojima se nekad samo maštalo. Realizacija ovih projekata nije nikakav hir, već se ponajprije temelji na gospodarskoj opravdanosti.

Projektiranje mostova složen je građevinsko-tehnički zadatak, koji treba zadovoljiti mnoge zahtjeve, a ne samo tehničko rješenje njegove nosive konstrukcije. Postojanje pouzdane nosive konstrukcije bitan je preduvjet postojanja mosta. Taj uvjet, iako prijeko potreban, nije dovoljan za uporabnu vrijednost mosta.

Mostovi, kao i sve druge građevine, trebaju zadovoljiti zahtjeve funkcionalnosti, sigurnosti, trajnosti, ekonomičnosti, estetike i ekologije (utjecaja na okoliš). Za uspješno rješavanje takvih zahtjeva treba vladati širokim saznanjima, a u slučaju većih i složenijih projekata nužno je uključivanje većeg broja stručnjaka različitih specijalnosti. Navedeni zahtjevi međusobno su suprotstavljeni pa ih valja kompromisno uskladiti.

Problemi projektiranja i građenja nosivih konstrukcija sastavni su dio građenja mostova. Stoga je neophodno poznavanje različitih disciplina u cilju postizanja pouzdanih, trajnih i ekonomičnih konstrukcija. U posljednje vrijeme osobito je značajan veliki napredak u području proračuna nosivih konstrukcija. Razvoj numeričkih metoda proračuna, a osobito metoda konačnih elemenata, potaknut ekspanzijom računala, omogućava pouzdane statičke i dinamičke, linearne i nelinearne analize konstrukcija. Proračun nosivih konstrukcija, nekad osobito zahtjevan i dugotrajan, pritom često i dominantni dio projekta mosta, danas je postao gotovo rutinski zadatak. Iako su graditelji mostova najdirektnije vezani za proračun njegovih nosivih konstrukcija, potrebna su im mnogo šira saznanja u cilju postizanja optimalnog rješenja.

Graditelj mostova treba dobro poznavati gradiva za izradu nosivih konstrukcija i sklopova, te postupke izrade. Nedopustivo je neopravdano nametanje nekih gradiva i postupaka izvođenja. Nažalost, ovo je ponekad prisutno jer su konstruktori danas specijalizirani samo za pojedine materijale, a izvođači nameću svoje postupke izrade.

Princip ekonomičnosti nedvojbeno je jedan od središnjih zahtjeva na most. Ekonomičnost i jeftinoća nisu isti pojmovi iako ih nažalost neki ponekad poistovjećuju. Naime, mnoga jeftina projektna rješenja mostova u uporabi su zahtijevala velike troškove održavanja, što se kasnije pokazalo sveukupno neekonomičnim. U ukupnu cijenu mosta, osim troškova izrade, treba uračunati i očekivane troškove održavanja. Stoga, pri izradi projekta mosta posebnu pažnju treba posvetiti trajnosti, a osobito kod mostova u agresivnom okolišu. S tim u svezi, nužno je detaljno propisati i u izvođenju provesti mjere osiguranja i kontrole kvalitete. Ispravno ponešto povećana ulaganja u fazi izrade mosta, u konačnosti bi se trebalo pokazati sveukupno ekonomičnijim rješenjem.

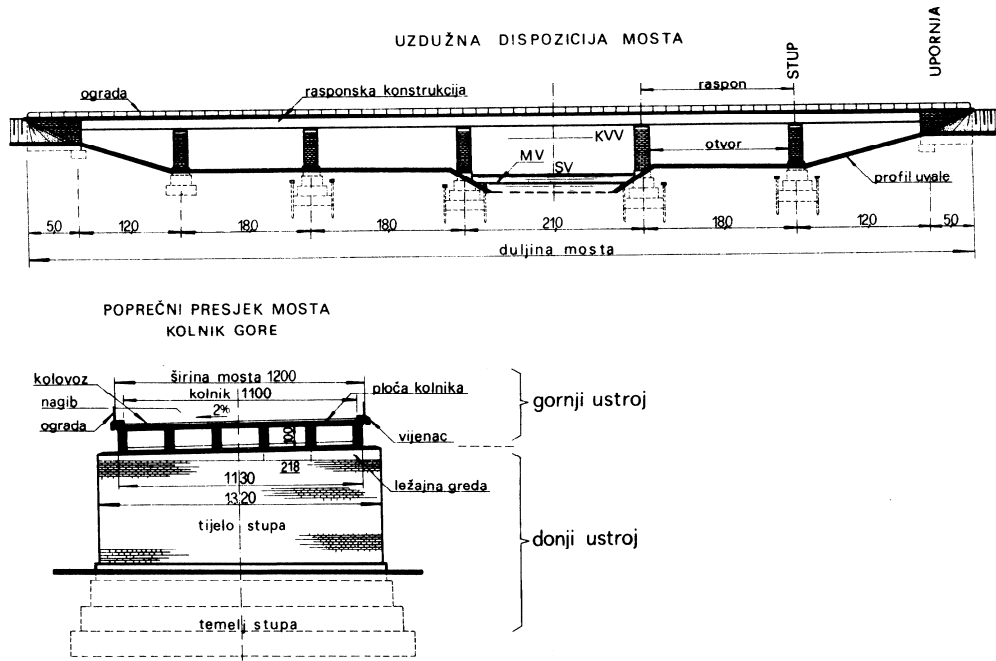
U svezi ekonomičnosti povezano je i pitanje brzine građenja. Pod argumentima brzine i štedljivosti nerijetko su proturena rješenja za koja se kasnije ustanovilo da nisu bila ni tako jeftina, ni brzo gotova, kako se unaprijed obećavalo. Posljedice su toga nepovratno i trajno manje vrijedne građevine, a sve za časovite prohibitke. Brzina građenja ne smije utjecati na kvalitetu, jer jednom kad građevina bude dovršena vremenski rok njene izgradnje nikome neće biti interesantan, već njena sveukupna i trajna vrijednost.

Kao utilitarne građevine mostovi moraju biti prikladno oblikovani. Pod pojmom oblikovanja uključeni su različiti čimbenici koji uvjetuju opću vrijednost mosta. Osim svoje unutrašnje ljepote, most treba biti skladno uklopljen u okoliš. Oblikovna vrijednost mosta prvenstveno ovisi o projektantu, njegovoj konstruktorskoj i estetskoj obdarenosti i shvaćanju, ali isto tako i o investitoru i izvođaču.

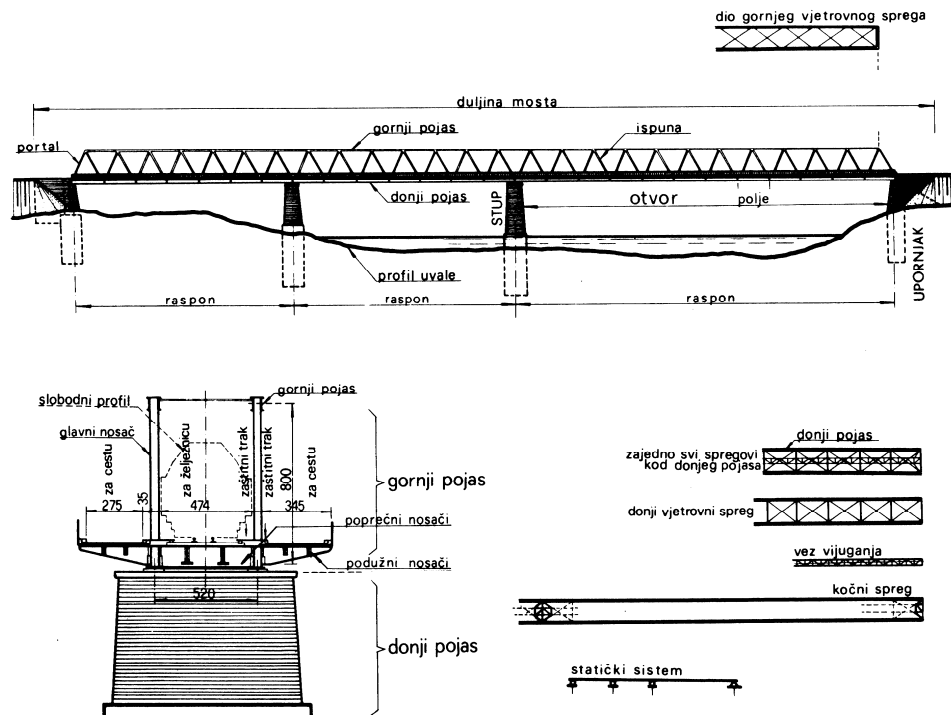
Estetski zahtjevi na most ponekad moraju biti odlučujući, a osobito kod gradskih mostova. U izvjesnim slučajevima potrebno je u postupku izrade projekta mosta uključiti arhitekta. U svakom slučaju, nedopustivo je građenje ružnih mostova.

2. OPĆI PODACI O MOSTOVIMA

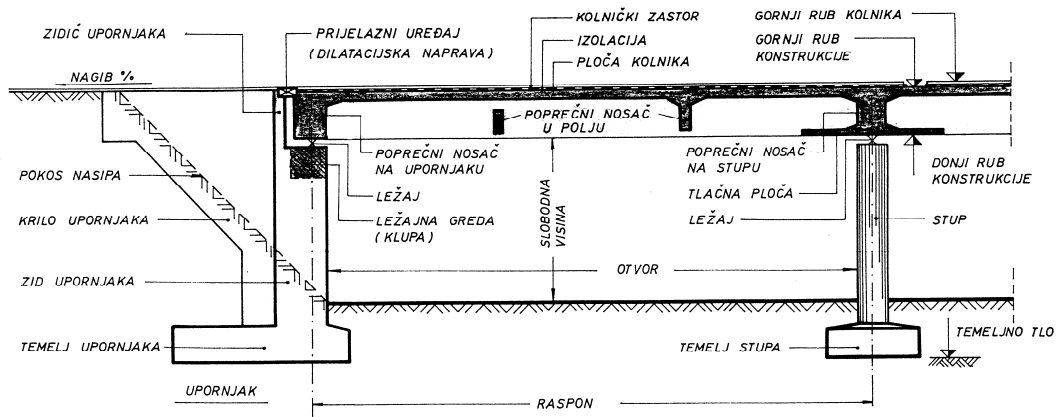
Na početku pregleda općih podataka o mostovima dat će se prikaz uobičajenih naziva pojmova i dijelova mosta. Neki od njih su označeni na crtežima 2.1-2.4, koji pokazuju različite mostove i njihove dijelove.



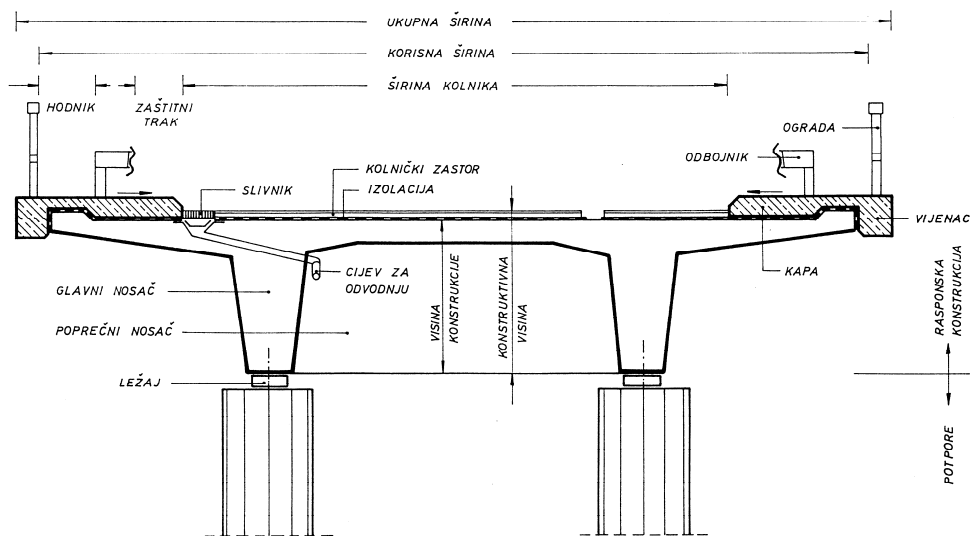
Crtež 2.1: Primjer armirano betonskog grednog mosta, pojmovi i nazivi dijelova



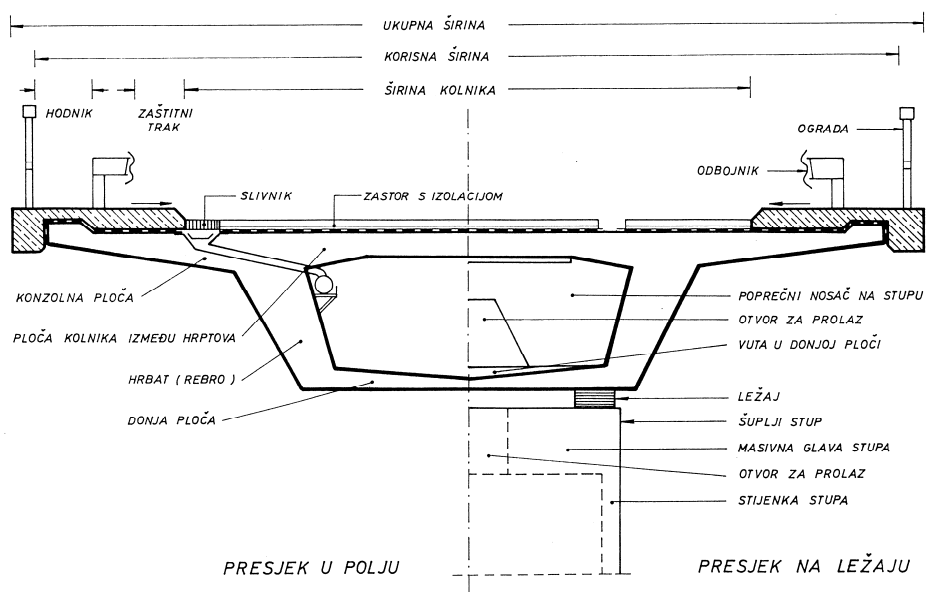
Crtež 2.2: Primjer kombiniranog cestovno-željezničkog mosta s čeličnom rešetkastom konstrukcijom i kolnikom dolje, pojmovi i nazivi dijelova



Crtež 2.3: Primjer uzdužne dispozicije betonskog grednog mosta, pojmovi i nazivi dijelova



Crtež 2.4: Poprečna dispozicija betonskog grednog mosta, pojmovi i nazivi dijelova



Crtež 2.5: Betonski gredni most sandučastog poprečnog presjeka, pojmovi i nazivi dijelova

2.1 OPĆI POJMOVI

Most je građevina kojom prelazimo neku zapreku.

Propust je most malog otvora, do oko 4-10 m.

Otvor mosta je razmak između unutrašnjih ploha stupova. Ako most sadrži više otvora, govorimo i o ukupnom otvoru koji čini zbroj duljina svih pojedinih otvora.

Duljina mosta je razmak između osi ležaja na upornjacima.

Ukupna duljina mosta je razmak između rubova krila na upornjacima.

Raspon mosta je razmak između osi ležajeva rasponske konstrukcije, odnosno između osi stupova. Ako most ima više otvora, imat će njegova rasponska konstrukcija toliko i raspona.

Rasponska konstrukcija ili glavna konstrukcija je nosiva struktura koja premoštava otvor mosta.

Širina mosta je razmak između unutrašnjih ploha ograda. Razlikuju se i širine kolnika, hodnika, traka, prostora za ogradu, međupojasa i sl.

Niveleta mosta je linija koja prolazi sredinom kolnika u pogledu sa strane. To je osnovna linija u njegovom uzdužnom presjeku.

Nagib nivelete predstavlja uspone i padove nivelete po dužini mosta.

Uzdizanje nivelete je visinska razlika najniže i najviše točke nivelete na mostu.

Os prometnice je tlocrtna linija sredine kolnika prometnice koje prelazi preko mosta. Ta os postoji i na mostu.

Os mosta obično je simetrala mosta na pogledu sa strane na mostu.

Uzdužna dispozicija mosta ili uzdužni razmještaj, je raspored otvora i stupova mosta u pogledu sa strane na most.

Poprečna dispozicija mosta ili poprečni razmještaj mosta, je razdioba širine mosta na hodnike, trake i kolnike za razne prometne svrhe.

Poprečna dispozicija konstrukcije mosta je raspored sastavnih dijelova nosive konstrukcije u njenom poprečnom presjeku. Razlikujemo nagibe kolnika, hodnika, međupojasa i sl.

Donji ustroj mosta čine oni dijelovi koji se nalaze ispod vrha ležajeva rasponske konstrukcije.

Gornji ustroj mosta čine oni dijelovi mosta koji se nalaze iznad vrha ležajeva rasponske konstrukcije.

Pomost čine oni dijelovi mosta koji se nalaze između glavnih nosača mosta i ploha kolnika i hodnika.

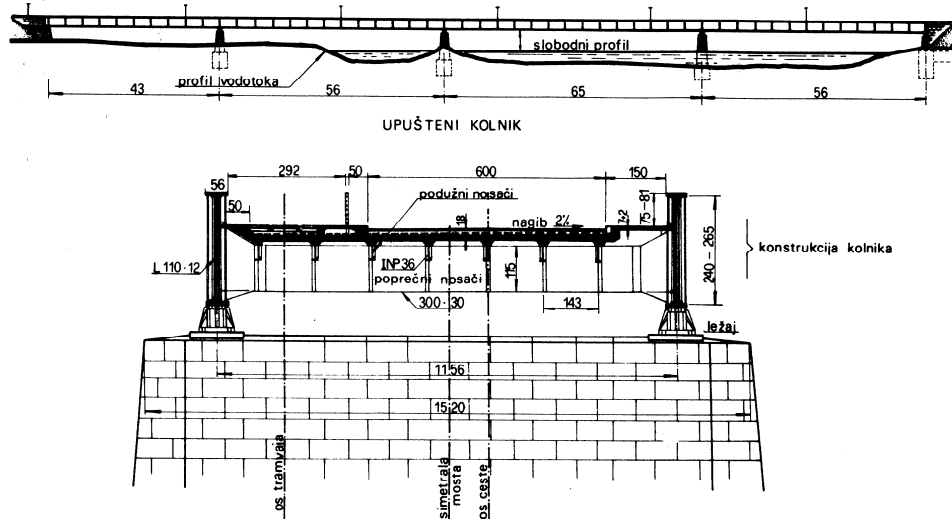
Konstrukcija kolnika je nosiva konstrukcija preko koje se opterećenja s kolnika i hodnika prenosi na glavne nosače mosta.

Slobodni profil je otvor kroz kojeg može prolaziti promet iznad ili ispod mosta. Stoga se razlikuje slobodni profil na mostu i slobodni profil ispod mosta.

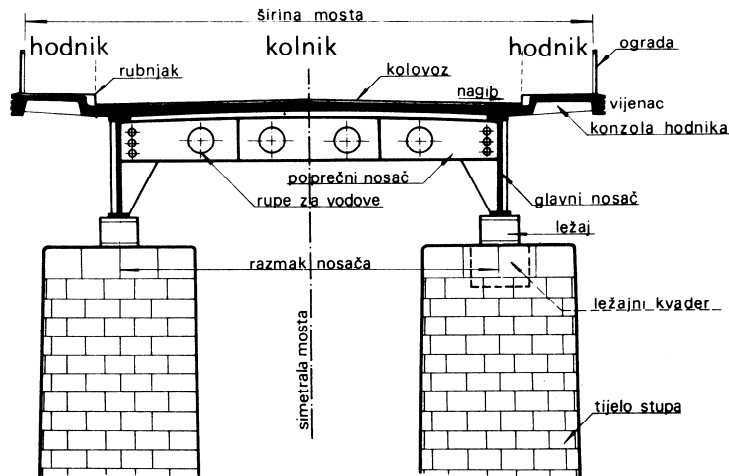
Prilazi mosta ili rampe, su sektori prometnice preko kojih se s otvorene ceste nailazi do mosta.

2.2 NAZIVI DIJELOVA MOSTA

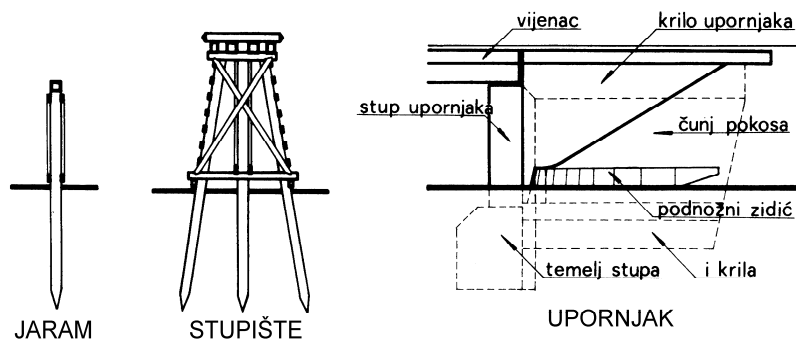
Dijelovi svakog mosta mogu se globalno svrstati u gornji i donji ustroj. Najčešći sastavni dijelovi i njihovi nazivi su niže navedeni, a neki od njih su prikazani na crtežima 2.1-2.13.



Crtež 2.6: Primjer kombiniranog mosta za cestovni promet, tramvaj i pješake - pojmovi i nazivi dijelova. Most ima upušteni kolnik i punostijene glavne čelične nosače grednog sustava

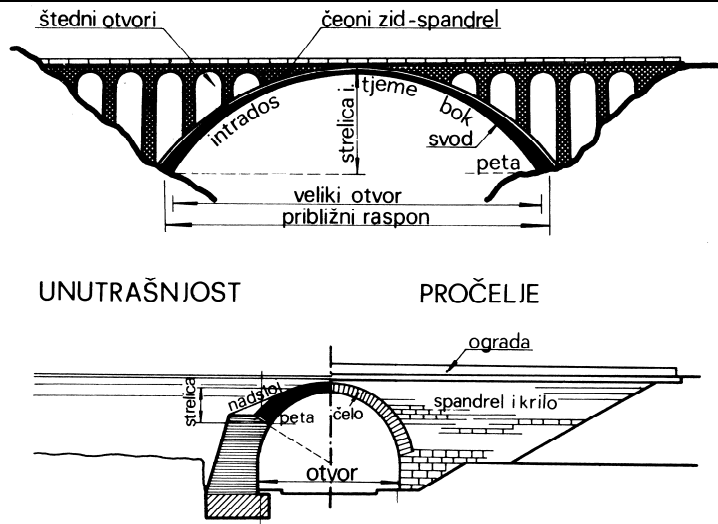


Crtež 2.7: Primjer poprečne dispozicije mosta iz punostijениh čeličnih grednih nosača spregnutih s betonskom kolničkom pločom - pojmovi i nazivi dijelova

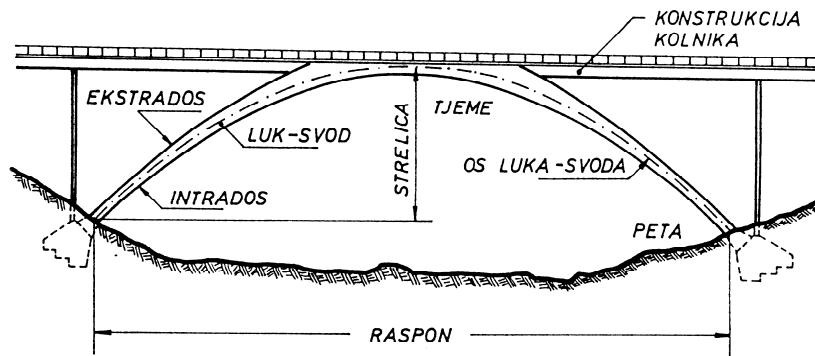


Crtež 2.8: Neki dijelovi mosta i njihovi nazivi

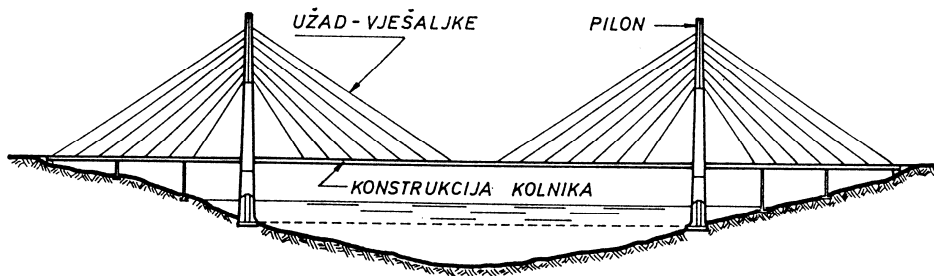
2. Opći podaci o mostovima



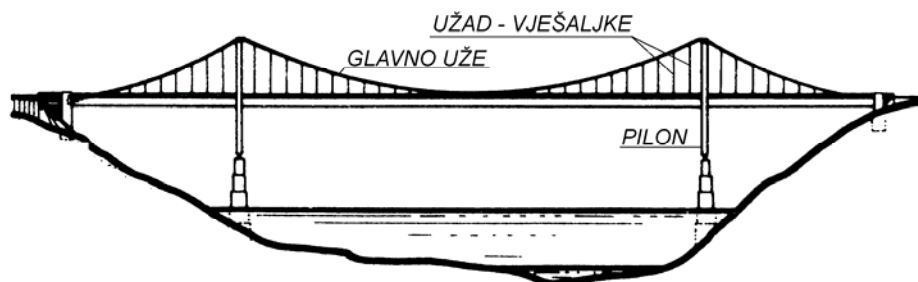
Crtež 2.9: Primjeri lučnih mostova kojima su glavni nosači masivni svodovi - pojmovi i nazivi dijelova



Crtež 2.10: Primjeri suvremenog lučnog mosta - pojmovi i nazivi dijelova



Crtež 2.11: Primjer ovješnog (zauzdanog) mosta - pojmovi i nazivi dijelova



Crtež 2.12: Primjer visećeg mosta - pojmovi i nazivi dijelova

2.2.1 Donji ustroj mosta

Upornjaci su krajnji stupovi na koje se oslanja rasponska konstrukcija. Na njima prestaje nasip i počinje most. Mogu se sastojati od ovih dijelova:

- Stup upornjaka
- Krilo upornjaka
- Temelj stupa upornjaka
- Temelj krila upornjaka
- Čunj pokosa nasipa
- Podnožni zidić pokosa nasipa
- Zidić upornjaka
- Ležajna greda
- Ležajni kvader
- Klupica

Stupovi su dijelovi mosta koji podupiru rasponsku konstrukciju između upornjaka. Mogu biti temeljeni na suhom i u vodi. U drvenim mostovima za stupove se koriste nazivi jaram i stupište, ovisno o njihovoj konstrukciji. Stupovi mogu imati:

- Temelj stupa
- Tijelo stupa, stup u užem smislu.
- Ležajnu gredu, nosivi blok na kojeg se naslanja ležaj ili ležajna klupica. Obično je smješten unutar ležajne grede.
- Ležajna klupica, uzdignuti dio iznad vrha stupa na kojeg se neposredno oslanja ležaj.
- Prečke i druge spojne elemente kod složenih stupova.
- Ledobran i ledolom, posebne dijelove uzvodno od (ispred) stupa zbog zaštite od leda, plovni predmeta ili plovila
- Kod visećih i ovješanih mostova glavni stupovi koji se uzdižu visoko iznad razine kolnika zovu se piloni. Preko njih je obješena užad za vješanje rasponske konstrukcije mosta.
- Ležajevi su posebni dijelovi na koje se neposredno naslanja rasponska konstrukcija. Spram mogućnosti i načina relativnog pomicanja okretanja rasponskog sklopa, u odnosu na donji ustroj razlikujemo:
 - Nepokretni ležaj ne dopušta nikakva međusobna pomicanja rasponske konstrukcije i donjeg ustroja.
 - Pokretni ležaj dopušta pomicanje rasponskog sklopa u željenom pravcu.
 - Linijski ležaj dopušta okretanje rasponske konstrukcije oko jedne crte.
 - Točkasti ležaj dopušta okretanje rasponskog sklopa u svim pravcima.
 - Klizni ležaj omogućava pomak rasponske konstrukcije u željenom pravcu klizanjem.
 - Njihajući ili pendl ležaj, formiran od kratkog obostrano zglobovno priključenog stupa, omogućava pomicanje i kretanje rasponskog sklopa u željenom pravcu.

Prijelazne ploče su armiranobetonske ploče na nasipu iza upornjaka. Jednim se rubom oslanjaju na upornjak, a preostalim dijelom na nasip. Služe za izjednačavanje vertikalnih pomaka između krute konstrukcije mosta i elastičnog nasipa, odnosno za sigurnost i udobnost prijelaza s mosta na nasip.

2.2.2 Gornji ustroj mosta

Glavni nosači služe za prijenos sila s gornjeg ustroja na stupove i upornjake. Za njih se još koriste nazivi: rasponski nosači, rasponska konstrukcija, glavna nosiva konstrukcija ili pak rasponski sklop (ovaj pojam uključuje i druge konstruktivne elemente gornjeg ustroja). Kod glavne konstrukcije susreću se sljedeći nazivi:

- Sustav nosača je njegov računski (statički) sustav.
- Pojasevi nosača su njegovi rubni dijelovi po visini. Razlikuje se gornji i donji pojas nosača.
- Visina nosača je visinski razmak njegovih pojaseva. Može biti stalna ili promjenjiva po duljini nosača.
- Ispuna nosača je dio nosača između pojaseva. Može biti puna (obično se naziva hrbat ili rebro) i ošupljena (najčešće je rešetkasta).
- Širina nosača se obično odnosi na širinu njegovog gornjeg pojasa, donjeg pojasa ili ispune (hrpta).
- Osni ili svijetli razmak nosača je njihov odgovarajući razmak u poprečnom presjeku mosta.
- Tip konstrukcije ili sustav konstrukcije, je naziv obično vezan za način njenog nošenja (pločasta, gredna, okvirna, lučna, zavješena, viseća itd.).
- Greda T presjeka je greda povezana s pločom. Još se zove i rebrasti nosač.
- Sandučasti nosač je nosač sandučastog poprečnog presjeka. Tvori ga kolnička ploča, rebra i donja ploča.
- Pločasti nosač je nosač kod kojeg ploča premoštava otvor mosta.
- Okvirni nosač je obično formiran od rasponske konstrukcije koja premoštava otvor mosta, stupova i upornjaka mosta.
- Lučni nosač je nosač zakrivljenog oblika. Kad je takav nosač značajno širok u odnosu na njegov raspon, nazivamo ga svodom.
- Ovješeni nosač je nosač ovješeni s pomoću kosih užadi.
- Viseći nosač je nosač obješen o lančanicu.
- Zategnuti nosač ili prednapregnuta traka je nosač kod kojeg je lančanica i kolnička konstrukcija sadržana u jednom nosivom elementu.
- U svodenim ili lučnim konstrukcijama i mostovima postoje i drugi nazivi i pojmovi, primjerice:
 - Strelica, intrados, ekstrados, os luka ili svoda.
 - Unutrašnja ploha, vanjska ploha, tjeme, bokovi, pete, itd.
 - Čeoni zidovi ili spandrel, nadozid, nadsloj, štedni otvori itd.
- Kod ovješениh mostova susreću se još pojmovi: kosa užad.

Poprečni nosači su dijelovi nosivog sklopa koji međusobno povezuju glavne nosače. Kod nekih se sklopova mogu razlikovati osnovni (obično nad ležajima) i sekundarni (obično u polju) poprečni nosači.

Podužni nosači, ili sekundarni uzdužni nosači, su dijelovi nosivog sklopa koji leže uzdužno kao i glavni nosači, ali nisu uključeni u glavni prijenos sila.

Kolnik je ploha namijenjena vozilima.

Kolovoz je gornji stroj kolnika po kojemu se odvija promet.

Hodnik, ili pločnik, je ploha namijenjena prolazu ljudi. Ponekad se naziva i pješačka staza.

Rubnjak je učvršćeni rub pješačkih hodnika na spoju s kolnikom.

Ograda je dio koji sprječava pad s mosta.

Odbojnik je element koji štiti od izlijetanja vozila.

Vijenac je postrani završetak hodnika ili traka mosta.

Zaštitni trak je rubni prostor uz kolnik koji je predviđen radi osiguranja da vozila ne zalaze u prostor za pješake, u ograde ili u nosače.

Dilatacijska naprava, ili prijelazni uređaj, služi za premoštenje reške u plohi kolnika na spoju rasponske konstrukcije i upornjaka, a kod dugih mostova i između dijelova rasponske konstrukcije.

Izolacija je vodonepropusni sloj između kolničke ploče i betona.

Odvodnja mosta je sustav za uklanjanje voda s gornjih površina mosta.

Konzola hodnika je poprečna istaka na kojoj se nalazi hodnik.

Kapa je betonska ploča na konzoli hodnika.

Vjetrovni spreg, ili vjetrovni vez, je nosač koji preuzima horizontalne sile vjetra.

Poprečni vez, ili poprečni spreg, je nosač koji ukružuje most u poprečnom smjeru.

Portali mosta su nosači koji osiguravaju prijenos sila i stabilnost poprečno na most. Obično se sastavljaju na krajevima mosta ili na osloncima rasponske konstrukcije.

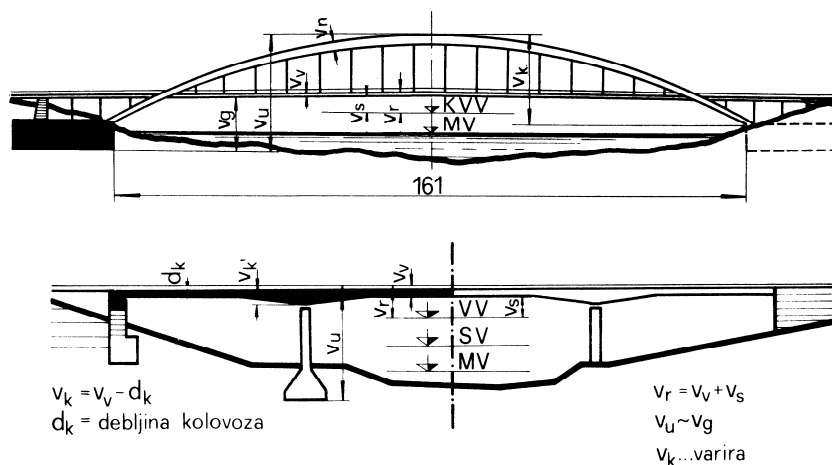
Kočni spreg je nosač koji prenosi uzdužne kočne sile s konstrukcije kolnika na glavne nosače.

Spreg vijuganja je nosač koji preuzima bočne udarce s podužnih nosača na poprečne.

Iz priloženih slika može se uočiti da svaki most ne mora imati sve prethodno navedene dijelove. Kod velikih mostova neki dijelovi mogu služiti za više svrha. Primjerice, u pločastim armiranobetonskim mostovima glavna ploča koja premošćuje otvor djelovat će i kao: glavni nosač, konstrukcija kolnika, poprečni nosači, vjetrovni i kočni spreg.

Neke uobičajene visine kod mostova posebno su prikazane na slici 2.13. To su:

- Ukupna visina (v_u) je visina od dna najnižeg temelja do najviše točke nosivog sklopa.
- Visina konstrukcije (v_k) je visina od donjeg do gornjeg ruba nosivog rasponskog sklopa. Može biti različita uzduž mosta.
- Slobodna visina (v_s) je visina od plohe donje prometnice, ili od mjerodavne visine vode, do donjeg ruba rasponskog sklopa. Može biti različita uzduž mosta.
- Raspoloživa visina (v_r) je visina od mjerodavne razine vode, ili donje prometnice, do nivelete mosta.
- Građevna visina (v_g) je visina od dna temelja do nivelete.
- Konstruktivna visina (v_v) je visina od donjeg ruba rasponske konstrukcije do nivelete. Debljina kolovoza (d_k) obično je uključena u ovu visinu.



Crtež 2.13: Neke uobičajene visine kod mostova

2.3 PODJELA MOSTOVA

Sistematizacija mostova može se vršiti na različite načine, a uobičajena je po dva osnovna kriterija na: vrste mostova i tipove mostova.

Po vrstama, mostove dijelimo prema vanjskim okolnostima. To je podjela općenitog značenja mosta kao utilitarne građevine.

Po tipovima dijelimo mostove prema osobitostima njihove nosive konstrukcije. Ova se podjela odnosi zapravo na glavnu rasponsku konstrukciju i prvenstveno je zanimljiva graditeljima mostova.

2.3.1 Vrste mostova

Po vrstama mostove možemo podijeliti na razne načine; primjerice prema svrsi, mjestu, značenju, veličini, trajnosti ili fiksnosti. Tako se dobivaju ove grupacije mostova:

2.3.1.1 Vrste mostova po svrsi ili po prometu na njima

- Cestovni mostovi
- Željeznički mostovi
- Pješački mostovi
- Mostovi za kombinirani promet
- Mostovi za vodovode i kanale (akvadukti)

- Zaštitni mostovi
- Kranski mostovi
- Mostovi prenosila
- Kombinirani mostovi

2.3.1.2 Vrste mostova po mjestu, položaju i vrsti zapreke

- Gradski mostovi
- Mostovi preko rijeka i vodotoka
- Mostovi nad udolinama i obroncima (vijadukti)
- Mostovi preko prometnica (nadvožnjaci i podvožnjaci)
- Mostovi na prilazima (rampama)
- Mostovi nad provalijama
- Mostovi preko morskih tjesnaca
- Mostovi na inundacijama
- Mostovi u parkovima
- Tvrđavni mostovi
- Nadvožnjaci; nadvožnjak prevodi prometnicu iznad razine okolnog terena na kojem se nalazi druga prometnica.
- Podvožnjaci; podvožnjak prevodi prometnicu ispod razine okolnog terena na kojem se nalazi druga prometnica. Ponekad se za isti objekt koriste oba termina. Primjerice, pri prolazu ceste iznad željezničke pruge, govori se o cestovnom nadvožnjaku ili pak željezničkom podvožnjaku

2.3.1.3 Vrste mostova po njihovom prometnom značenju

- Lokalni mostovi
- Tranzitni mostovi
- Magistralni mostovi
- Sabirni mostovi
- Industrijski mostovi

2.3.1.4 Vrste mostova po veličini njihova otvora

- Mali mostovi ili propusti. Propusti su mostovi otvora od oko 6 - 10 m. Obično se grade po tipskim projektima. Širina i visina otvora obično se određuju na temelju zahtjeva propusnosti ili prometnih zahtjeva.
- Mostovi osrednje veličine otvora; obično nadvožnjaci, podvožnjaci ili vijadukti
- Veliki mostovi

2.3.1.5 Vrste mostova po njihovoj projektiranoj trajnosti

- Provizorni mostovi su oni kod kojih je predviđen period uporabe kraći od vremena trajnosti gradiva od kojeg su načinjeni. Obično se grade zbog potrebe što hitnijeg uspostavljanja prometa.
- Privremeni mostovi su oni koje predviđamo za određeni period, kraći od vremena trajnosti građe. Takvi su primjerice mostovi koje trebamo samo za vrijeme gradnje nekog objekta.
- Polustalni mostovi su oni mostovi koje gradimo da traju što duže, ali ne unedogled.
- Stalni mostovi su oni mostovi koje gradimo s težnjom da traju u daleku budućnost.

Sa stanovišta projektom predviđene računske sigurnosti nosivih konstrukcija, propisima su obično definirani koeficijenti sigurnosti za pojedine kategorije objekata. Ukoliko pak nisu, treba ih definirati u dogovoru s investitorom.

2.3.1.6 Vrste mostova po fiksnosti.

- Nepokretni mostovi su oni mostovi čiji su svi dijelovi nepokretni.
- Pokretni mostovi su oni mostovi kod kojih se može vršiti premještanje dijelova (obično rasponskog sklopa) radi povećanja slobodnog prostora za prolaz prometa ispod mosta. Pomicanje rasponskog sklopa može se vršiti na različite načine uvlačenjem, dizanjem, okretanjem, rasklapanjem i sl.

2.3.1.7 Vrste mostova prema načinu oslanjanja nosivog sklopa

- Klasični mostovi imaju potpore temeljene na čvrstom tlu.
- Plutajući (pontonski) mostovi su oni mostovi kod kojih je rasponska konstrukcija oslonjena na plutajuće pontone.
- Uronjeni mostovi (uronjeni tuneli) su oni mostovi kod kojih je zatvorena šuplja cijev, kao glavna rasponska konstrukcija, uronjena ispod vode. Cijev je od isplivavanja osigurana sidrenjem za dno vodene prepreke, ili je pak oslonjena na glavu pilona (vlastita masa veća od uzgona). Promet se odvija kroz cijev.

2.3.1.8 Vrste mostova prema oblikovnim stilovima

Zapravo, nekih jasnih stilova tokom stoljeća u mostovima nema, u onom smislu koji postoji u arhitekturi. Ipak, postoje načini građenja i nazori u mostovima kroz povijest iz kojih rezultiraju razlike između mostova pojedinih epoha i pokrajina. Tako se neki mostovi mogu ocijeniti kao:

- Mostovi orijentalnog tipa
- Mostovi rimskog doba
- Mostovi srednjeg vijeka
- Mostovi Renesanse
- Mostovi novog doba

2.3.2 Tipovi mostova

Po tipu mostove možemo također podijeliti na razne načine. Primjerice, prema otvorima, položaju kolnika, tlocrtnom položaju i obliku, obliku glavnih nosača, tipu konstrukcije, gradiva za nosive sklopove, statičkom sustavu itd. Tako se mogu dobiti ove grupacije mostova:

2.3.2.1 Tipovi mostova po uzdužnom rasporedu otvora:

- Mostovi s jednim otvorom
- Mostovi s dva i više jednakih ili različitih otvora
- Simetrični i nesimetrični mostovi

2.3.2.2 Tipovi mostova po obliku nivelete:

- Mostovi s ravnom, vodoravnom ili nagnutom niveletom
- Mostovi sa zaobljenom, izbočenom ili udubljenom niveletom

2.3.2.3 Tipovi mostova po položaju kolnika:

- Mostovi s kolnikom gore
- Mostovi s kolnikom dolje
- Mostovi upuštenog kolnika
- Mostovi promjenjivog uzdužnog položaja kolnika

- Pokriveni mostovi
- Višekatni mostovi

2.3.2.4 Tipovi mostova po tlocrtnom položaju i obliku:

- Okomiti mostovi
- Kosi mostovi
- Mostovi u pravcu
- Mostovi u zavoju

2.3.2.5 Tipovi mostova po pretežnom gradivu glavnog sklopa:

- Drveni mostovi (podjela prema vrsti drveta i građe)
- Metalni mostovi:
 - od lijevanog gvožđa
 - od čelika
 - od aluminijska
- Masivni mostovi:
 - od prirodnog kamena
 - od opeke
 - od nearmiranog betona
 - od klasično armiranog betona
 - prednapeti mostovi
- Mostovi od kombiniranih materijala

2.3.2.6 Tipovi mostova prema načinu izrade glavne konstrukcije

- Drveni nosači:
 - tesarski vezani
 - čavlani
 - spojeni vijcima i moždanicima
 - lijepljeni
- Metalni nosači:
 - zakivani
 - zavareni
 - spojeni vijcima (obični i prednapeti)
- Masivni nosači:
 - zidani
 - betonirani na mjestu
 - predgotovljeni i monolitizirani

2.3.2.7 Tipovi mostova prema tipu nosive konstrukcije

- Pločasti mostovi (puni i šuplji)
- Gredni mostovi (rebrasti, sandučasti, punostijeni, rešetkasti)
- Okvirni mostovi (s vertikalnim i kosim stupovima)
- Lučni mostovi
- Viseći mostovi
- Ovješeni mostovi (mostovi s kosom užadi)
- Zategnuti (napeti) mostovi
- Mostovi složenih tipova nosivih sklopova

2.3.2.8 Tipovi mostova prema načinu prijenosa sila s konstrukcije mosta na temeljno tlo:

- Nosači bez potiska (horizontalnih sila) na tlo:
 - slobodno položeni nosači sa i bez prepusta
 - kontinuirani nosači sa i bez zglobova
 - okviri i lukovi sa zategama
 - viseći nosači u sebe usidreni
 - ovješeni nosači
- Nosači s potiskom na tlo:
 - lučni nosači bez zatega
 - okvirni nosači bez zatega
 - viseći nosači

2.3.2.9 Tipovi mostova prema obliku pojasa glavnog sklopa:

- Mostovi s ravnim nosačima konstantne visine
- Mostovi s ravnim nosačima ojačani vutama uz ležaje
- Mostovi s ravnim nosačima promjenjive visine
- Mostovi sa zakrivljenim nosačima konstantne i promjenjive visine

3. Uvjeti za projektiranje i izvedbu mostova

3.1 ZAHTJEVI NA MOSTOVE

Mostovi moraju zadovoljiti različitim zahtjevima koje na njih postavljaju razni korisnici. Zadovoljenje samo minimalnih uvjeta može biti izvorište znatno smanjene vrijednosti građevine. Stoga je ispravnije nastojanje za pronalaženjem najprikladnijih zahtjeva koji će u skupnom zbiru osigurati optimalno rješenje mosta. Na rješenje svakog mosta postavljaju se slijedeći temeljni zahtjevi:

3.1.1 Zahtjevi prometa

Kao prometni objekti, mostovi ponajprije moraju optimalno, a ne samo minimalno zadovoljiti prometne ili funkcionalne potrebe. U tome se ogleda uporabna vrijednost čitavog rješenja prijelaza i mosta u njemu. Uz osiguranje samog nasušnog prijelaza, u vrijednost mosta ulaze pitanja sigurnosti i udobnosti. Pored zadovoljenja minimalnog slobodnog profila za prijelaz pješaka, vozila i radova, treba voditi računa o: preglednosti, dojmovima, usklađenosti s navikama i drugim komponentama.

U zahtjeve prometa treba uključiti ravnost prometne plohe i njezin oblik u svakom času upotrebe. Kod toga je zanimljiva veličina deformacije nosivih konstrukcija i titranja što ih ona dobiva pod prometom. U promatranje vrijednosti nosive konstrukcije treba uzeti u obzir izobličenje nivelete mosta po čitavoj duljini pod prometnim opterećenjem. O ovome ovisi brzina i sigurnost prometa, a time i vrijednost mosta.

Na prometnu vrijednost mosta utiče njegova trajnost, odnosno potreba održavanja. Naime, ako mostove treba popravljati u kratkim razdobljima, pa bili to samo i sitni popravci kolovoza, izazvat će to smetnje u prometu.

3.1.2 Tehnički zahtjevi (sigurnost i mehanička otpornost)

U primarne zahtjeve koje treba zadovoljiti svaki most ulazi njegova sigurnost i mehanička otpornost, odnosno njegova sposobnost da podnosi sva opterećenja koja ga mogu zadesiti. To je osnovni uvjet postojanja mosta, koji neupitno mora biti što bolje ostvaren. Opterećenja i koeficijenti sigurnosti konstrukcija mosta definirani su odgovarajućim propisima. Suvremeni dokazi sigurnosti konstrukcija koncipirani su na proračun prema graničnim stanjima. Razlikuju se granična stanja nosivosti i granična stanja u uporabi.

Za granična stanja nosivosti treba dokazati da je računski granična nosivost konstrukcije najmanje jednaka računskom graničnom opterećenju. Ono se dobiva kao zbroj umnožaka odgovarajućih sila od uporabnih opterećenja i pripadajućih koeficijenata sigurnosti. Također je potrebno kontrolirati i stabilnost određenih dijelova mosta promatranih kao kruto tijelo (prevrtanje, klizanje, odizanje).

Za granična stanja upotrebe treba dokazati da konstrukcija zadovoljava propisane vrijednosti pomaka (izobličenja), vibracija, naprezanja gradiva i širina pukotina (kod armiranih elemenata). Kod toga su također odgovarajućim propisima definirana proračunska uporabna opterećenja i njihove računski kombinacije.

Konstrukcije se u pravilu dimenzioniraju prema graničnim stanjima nosivosti, uz dokaz graničnih stanja u uporabi. Pri odabiru dimenzija presjeka nosivih elemenata treba se pridržavati uobičajenih pravila, odnosno one trebaju biti u uobičajenim okvirima. Premale dimenzije nosivih elemenata teško mogu zadovoljiti granična stanja uporabe i prometne

zahtjeve, tj. zahtjeve trajnosti. Pretjerana štednja na visini (krutosti) nosivih elemenata je štetna i nedopustiva.

3.1.3 Zahtjevi ekonomičnosti

Pri projektiranju mosta treba nastojati što više smanjiti utrošak novca na njegovu realizaciju. Naime, treba nastojati što više smanjiti utrošak materijalnih sredstava i radne snage. Troškovi materijala i troškovi izgradnje su u stanovitosti povezani. Pretjerana štednja u materijalu nije ekonomična, a pogotovu ako to iziskuje povećan rad. Suvremeni postupci građenja teže jednostavnosti i brzini gradnje, čak i po cijenu povećanih troškova materijala. Razvojem tehnologije i civilizacije, troškovi radne snage su sve veći a cijena materijala sve manja.

Kako je već rečeno, u ukupne troškove treba uključiti troškove gradnje i troškove održavanja. Stoga se ne može govoriti o ekonomičnosti rješenja ako nisu sagledani svi troškovi za predviđeni vijek njegove upotrebe. Pretjerano inzistiranje na ekonomičnosti, ponekad može uzrokovati velike troškove održavanja i značajno umanjiti opću vrijednost mosta.

3.1.4 Estetski zahtjevi

Estetika spada u područje filozofije, fiziologije i psihologije. Ona zahvaća u područje osjećaja. Stoga se na pitanje što je lijepo ne može odgovoriti na način kao u području egzaktnih znanosti. Ipak, analize estetskih vrijednosti građevina koje su općenito ocijenjene kao lijepe, ukazuju na određene elemente oblikovanja: proporcije, ritam, kontraste, simetrije, ponavljanja, obrise, doživljaje, osjećaje i slično. Za ocjenu estetske vrijednosti mostova valja poznavati određena načela i zakonitosti oblikovanja. Uz prikladnost općih linija i obrisa mostova, te njihov sklad s okolinom, u problemima oblikovanja valja riješiti unutrašnje odnose, proporcije dijelova i cjelina. Osobito je važan izgled vidljivih ploha i rješenje detalja.

Oblikovna vrijednost mosta ocjenjuje se prema doživljaju prolaznika po mostu, te ispod i pokraj njega. Jedna od neophodnih komponenti pri tom je kvaliteta radova, kvaliteta materijala, te brižljivost i točnost izvedbe. Oblikovni zahtjevi mogu izazvati neko povećanje izdataka, ali s njima se postižu realne vrijednosti koje sadrže određen dobitak. Ljepota je trajna vrijednost za koju uložena sredstva nisu uzaludno potrošena. Dakako da nema uske veze između jeftinog i ružnog, skupog i lijepog, ili pak jeftinog i lijepog. Često su se i bez ikakvih dodatnih ulaganja mogla postići oblikovno daleko povoljnija rješenja.

Iako svaki projektant treba dobro poznavati načela oblikovanja, u određenim slučajevima valja usko surađivati s arhitektom kako bi se postiglo optimalno estetsko rješenje. Valja imati na umu da je građenje mostova samo jedan dio graditeljstva, pa će potreba suradnje konstruktora i arhitekta biti shvatljivija. Razlike između građevinara i arhitekata stvorene su umjetno, najvećim dijelom kao rezultat pogrešnog odgoja i kritičnog stava u graditeljskoj struci.

Ne valja imati predrasude da su neki mostovi lijepi sami po sebi, odnosno zbog oblika i obrisa njegove nosive konstrukcije (primjerice lučni ili viseći mostovi). Isto tako pogrešno je smatrati da su određeni tipovi mosta apriori ružni (primjerice montažni gredni mostovi). Svi mostovi, pa i oni koji su više prilagođeni suvremenim zahtjevima tehnike i duha vremena, mogu biti lijepi ako su u skladu s okolinom i prikladno oblikovani.

Na estetsku vrijednost mosta važan utjecaj ima njegova nosiva konstrukcija. Ona treba biti jasna, jednostavna i raščlanjena, pri čemu svi elementi trebaju istodobno tvoriti prostorni sklad. Pretjerano inzistiranje na računski optimalnim oblicima konstrukcije može dovesti do umanjenja njene estetske vrijednosti.

3.1.5 Zahtjevi trajnosti

Trajnost mosta definira se njegovom sposobnošću da posjeduje zahtijevanu razinu sigurnosti i upotrebljivosti u određenom vremenskom razdoblju. O trajnosti mostova nažalost donedavno nije vođena dovoljna briga. To je imalo za posljedicu brzo propadanje brojnih mostova, a osobito klasično armiranih i prednapetih konstrukcija u agresivnom okolišu. Rezultat takvog odnosa najčešće je graničenje ili potpuno zatvaranje prometa preko takovih mostova, te znatni izdaci za njihovu složenu i ponekad upitnu sanaciju.

Trajnost konstrukcija danas se regulira propisima. Obično se smatra da trajnost stalnih mostova treba biti oko 80-100 godina, odnosno da vijek trajanja mosta bude otprilike jednak životnom vijeku čovjeka. U izvjesnim slučajevima projektiranu trajnost mosta treba dogovoriti s investitorom. U svakom slučaju u ukupna ulaganja za most treba uključiti troškove njegove izgradnje i održavanja. Kako bi troškove održavanja sveli na što manju mjeru, a time povećali i uporabnu vrijednost objekta, dobro je ponešto povećati početna ulaganja za most, a sve u cilju njegove povećane trajnosti i sveukupne racionalnosti.

Zbog osiguravanja potrebna trajnosti i upotrebljivosti, posebice radi zaštite klasične i napete armature od korozije, kod svih se armiranobetonskih i prednapetih elemenata proračunava granično stanje širine pukotina. Iskustva su pokazala da su ovakvi proračuni još uvijek dvojbeni i nepouzdana, te da ne manju pažnju treba posvetiti određenim konstruktivnim zahtjevima primjerice: dovoljna krutost (visina) ili s dovoljno veliki zaštitni sloj betona, dobroj zbijenosti i nepropusnosti betona, dobroj prionjivosti betona, dobroj prionjivosti betona i armature, tanjim profilima armature slično u cilju postizanja trajne, pouzdane i uporabljive konstrukcije.

3.1.6 Ekološki zahtjevi

Izgradnja mosta, više ili manje, remeti postojeće uvjete njegove prirodne sredine. Za vrijeme izgradnje mosta treba nastojati u najvećoj mjeri sačuvati postojeći prirodni okoliš. To se može postići odgovarajućom organizacijom gradilišta, te primjenom prikladnih tehnologija izrade. Svako imalo značajnije narušavanje postojećeg okoliša treba nastojati izbjeći, a u suprotnom je potrebna njegova sanacija.

Kao stalna građevina most također može remetiti postojeće uvjete okoliša. Posebno treba biti oprezan pri izgradnji mosta u naselju. U tom smislu treba voditi računa o adekvatnom rješenju zaštite od buke izazvane prometom, zaštite od eventualnih zvukova pri udarcima vjetra na ograde i odbojnice, sigurnoj i zatvorenoj odvodnji svih otpadnih voda s mosta, zaštiti od izljetanja s mosta i slično.

3.2 POTREBNE PREDRADNJE

Da bi se što bolje udovoljilo zadanim zahtjevima potrebno je, prije samog pristupanja projektiranju izvršiti određene predradnje. Ove predradnje mogu biti manjeg ili većeg opsega, već prema konkretnoj situaciji, a nekad mogu biti i vrlo detaljne. Osnovne predradnje su:

- Skupljanje podataka o zahtjevima na prijelaz i most; definiranje prometnih uvjeta na mostu i ispod njega te definiranje nivelete, slobodnog profila i sl. Izbor mogućeg položaja mosta.
- Skupljanje podataka o tlu na kojem treba sagraditi most, podataka vezanih za temeljenje mosta, te podataka o možebitnom vodotoku preko kojeg se most gradi.
- Snimka terenske situacije (geodetska podloga), reljefa terena i okolnih sadržaja. Konačni izbor položaja mosta.
- Podaci o korisnom opterećenju mosta (definiranje prometa na mostu) i određivanje ostalih opterećenja kojima će most biti podvrgnut.
- Podaci o pogodnim i raspoloživim gradivima, te ostalim činiocima zanimljivim za gradnju.

Nakon detaljne analize prikupljenih podataka, prelazi se na projektiranje mosta. Tok radova na projektiranju može se ovako prikazati:

- Izbor poprečnog presjeka mosta i uzdužne dispozicije. Izbor broja otvora, njihova veličina i raspored stupova. Izbor broja i oblika glavnih nosača. Izbor ograde i ostalih funkcionalnih dijelova mosta, sve u jednoj ili više varijanti.
- Izbor tipa mosta, statičkog sustava glavnog nosivog sklopa, izbor gradiva i izbor sustava građenja. Također u jednoj ili više varijanti.
- Statička provjera svih nosivih elemenata. Izbor dimenzija elemenata. Kontrola nosivosti, deformabilnosti i stabilnosti.
- Predmjeri radova i gradiva, podaci za ocjenu ekonomičnosti rješenja u odnosu na zahtijevani rok dovršetka i potrebna sredstva.

3.3 IZBOR MJESTA I POLOŽAJA

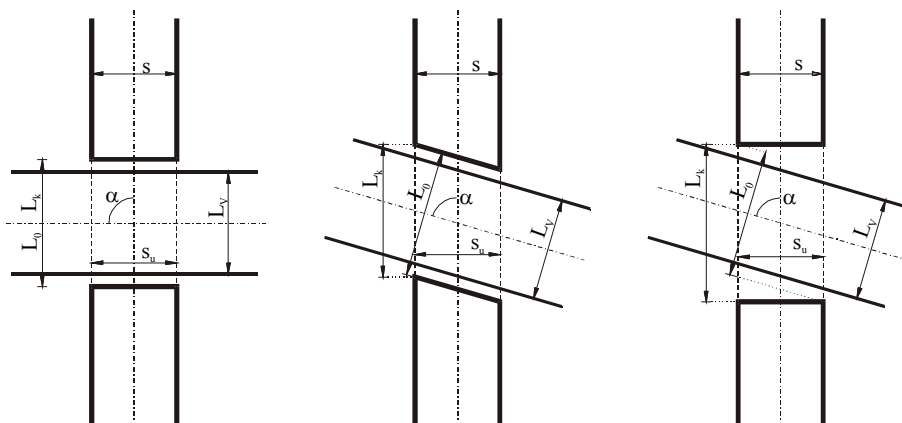
Izbor mjesta za prijelaz izabire se često jednom za uvijek, jer se pri rekonstrukciji obično koriste raniji prijelazi. Prva dužnost projektanta je da neposredno na terenu ispita mogućnost najpogodnijeg položaja mosta u smislu svih zahtjeva koji su ranije nabrojani.

Treba imati na umu da neki sam po sebi povoljan položaj ne mora biti takav u odnosu na opći projekt radova. Tako, kod cesta veće važnosti prednost ćemo dati trasi ceste, a most pokušati uklopiti kako najbolje znamo. Kod cesta niže važnosti prednost ćemo dati položaju mosta, a onda ćemo cestu uklopiti prema njemu.

3.3.1 Ugao prijelaza

Općenito je najpogodnije most smjestiti okomito na zapreku, jer je tada konstrukcija mosta najjednostavnija, a ujedno je most i najkraći. Međutim, ne treba po svaku cijenu nastojati most postaviti okomito na zapreku. Trase modernih prometnica imaju svoje zakonitosti (radijuse krivina, duljine prijelaznica) koje je često potrebno mijenjati na vrlo dugom potezu da bi se neki most postavilo okomito na zapreku. Kod gradskih prometnica kosi prijelazi i kosi mostovi su vrlo česti.

Na kosim križanjima možemo predvidjeti kosi ali i okomiti most, samo što se tada povećavaju rasponi mosta. Zorni prikaz prikazan je na crtežu 3.1. L_v je širina prepreke, L_0 svijetli otvor ispod mosta, L_k raspon konstrukcije, s širina mosta i α kut križanja.



Crtež 3.1: Križanje mosta s preprekom

Sa konstruktorskog stajališta, s obzirom na veličinu kuta α , razlikujemo sljedeće mogućnosti križanja:

- Područje križanja 90° do 70° - prema okomitim rješenjima beznačajne su razlike u konstrukcijama mostova;
- Područje križanja od 70° do 40° - konstrukcije mostova su obično slične konstrukcijama okomitih mostova, ali je pri provjeri nosivih sklopova potrebno računati s utjecajem kosine;
- Područje križanja ispod 40° - redovito zahtijeva predviđanje nekih posebnih rješenja, bilo u konstrukcijama mosta ili u provođenju vodotoka tj. donje prometnice.

Ako na kosom križanju predvidimo okomiti most imamo: dulji most, veći raspon konstrukcije, veće visine nosača, pa će most biti i skuplji nego na okomitom prijelazu.

Ako na kosom križanju predvidimo kosi most imamo: dulji donji ustroj, različita krila upornjaka, kompliciraniju konstrukciju, opsežnije proračune i općenito most će biti teže izvesti nego okomiti most. Uz to, postoje i određene poteškoće oblikovanja mosta.

Očividno je da su kosa križanja ispravna s obzirom na uporabnu vrijednost prometnice jer omogućavaju optimalno vođenje linije trase. Problemi koji se pri tome nameću graditeljima mostova mogu biti složeni. Također postoje problemi osiguranja dobre preglednosti na prometnici/vodotoku koji prolazi ispod mosta. Ovakvi problemi se obično rješavaju tankim pojedinačnim stupovima kojima se ostvaruju otvoreni vidici.

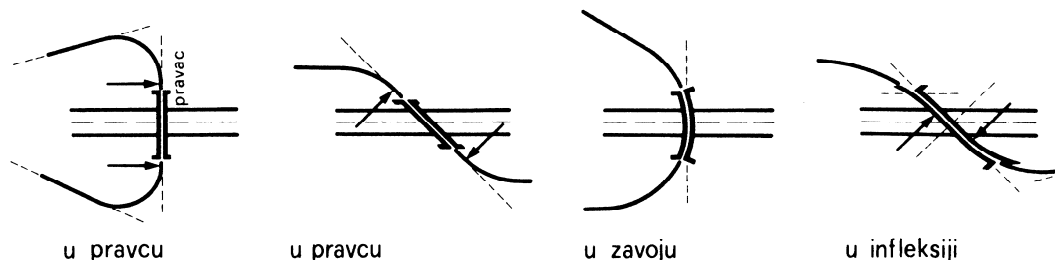
3.3.2 O izboru pravca

S gledišta izgradnje težimo što jednostavnijim mostovima, koji su dakako i najjeftiniji. Stoga je najpogodnije da se most nalazi u pravcu. Međutim, iz sličnih razloga koji su nabrojani u prethodnom potpoglavlju, mostove je potrebno smještati u različitim zavojima, prijelaznicama i međupravcima. U tom slučaju, osim komplikacija koje nastaju na samoj konstrukciji, javljaju se i problemi osiguranja dobre preglednosti koja je u uskoj vezi s vrstom prometa koji se na mostu odvija.

U zavojima je ploha kolnika nagnuta prema središtu zavoja, ali hodnici s vijencima ne moraju slijediti takvo nagibanje, pa se mijenjaju visinski odnosi između osnovnih linija u odnosu na one kada je most u pravcu (problemi zadiranja u slobodni profil – vizualno i stvarno).

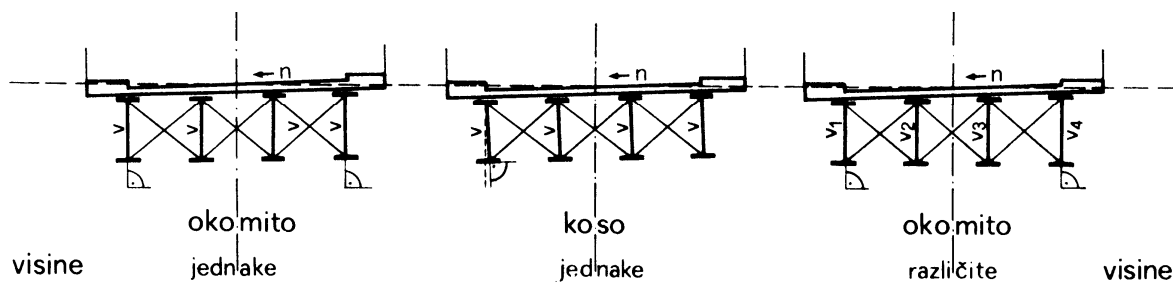
Složene okolnosti kada vitoperenje zahvaća most, za usklađenje odnosa linija najbolje je nacrtati svaku posebno (naslon, ograde, vijenac, rubnjak) i uskladiti ih.

Neki opći slučajevi postavljanja mosta u različitim tlocrtnim dispozicijama prikazani su na crtežu 3.2.

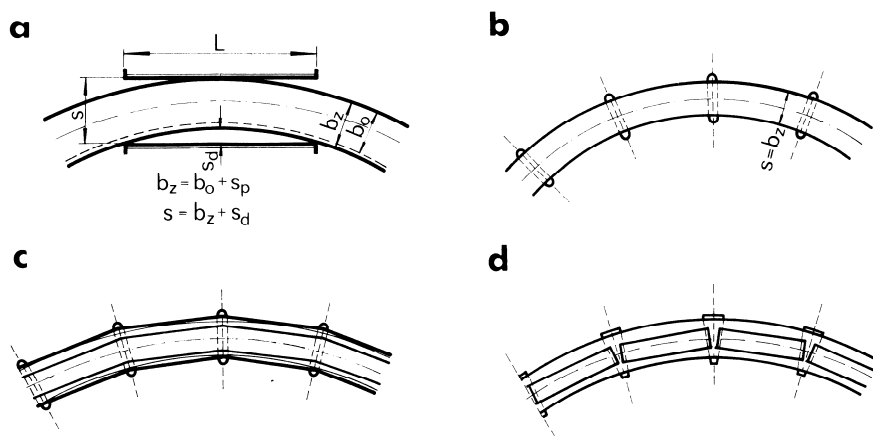


Crtež 3.2: Moguće tlocrtne dispozicije mosta

Postavljanje rasponske konstrukcije u slučaju zavojitog mosta prikazano je na crtežu 3.4, a rješenje rasponske konstrukcije u poprečnom presjeku za nagnuti kolnik prikazano je na crtežu 3.3.



Crtež 3.3: Rješenje rasponske konstrukcije za mostove s nagnutim kolnikom



- a ... proširenje
 b ... rasponska konstrukcija i pomost zavojit
 c ... rasponska konstrukcija i pomost poligonalni
 d ... rasponska konstrukcija poligonalna, a pomost zavojit.

Crtež 3.4: Tlocrtno rješenje mostova u zavoju

3.4 IZBOR NIVELETE

Niveleta je, u principu, linija sredine kolnika. Za ukupnu vrijednost mosta značajni su oblici plohe gledani sa strane na most, a njihov odraz je upravo linija nivelete.

Pri polaganju nivelete potrebno je voditi računa o nizu stvari: slobodnom profilu ispod mosta, visini nosača rasponske konstrukcije, općim vođenjem trase, reljefom terena i sl. Na osnovi njih, potrebno je pronaći najpogodnije odnose i položiti optimalne linije nivelete prijelaza. Osim estetskog značaja, linija nivelete je važna za sigurnost prometa, za troškove održavanja i za udobnost prijelaza.

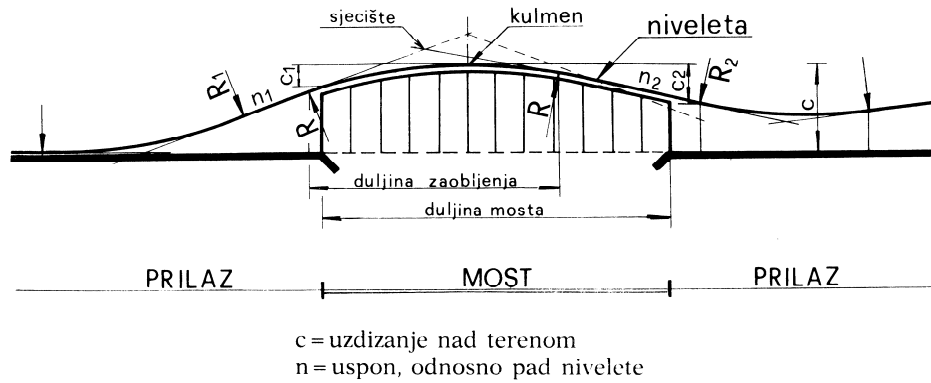
3.4.1 Visinski odnosi

Visinski položaj kolnika zadan je nekim općim uvjetima, pa mostovi mogu biti smješteni iznad ili ispod razine okolnog terena. Često nam ove odnose diktira prometnica, tj. njen visinski položaj u odnosu na teren. Potrebno je nastojati da uzdizanje nivelete bude što manje, čime se skraćuju prilazne rampe, smanjuje nasip, te smanjuju usponi i padovi. Kod prijelaza dubokih uvala preporučljivo je rasponski sklop smjestiti ispod prometne razine, dok je kod prijelaza plitkih uvala to vrlo teško postići, pa se rasponski sklop smješta iznad prometne površine ili se vješa o pilone (viseći i ovješeni mostovi).

3.4.2 Odnosi odlučni za ocjenu vrijednosti nivelete

Za ocjenu vrijednosti nivelete, a time i ocjenu ukupne vrijednosti mosta mogu se postaviti neki parametri oblika nivelete, a to su:

- Osnovni oblik, mjesto prijeloma tangenti i položaj točke kulminacije,
- Strmina uspona i padova (%) i veličina izdizanja (c),
- Radijus zakrivljenosti (R) i dužina zaobljenja,
- Odnosi na prilazima,



Crtež 3.5: Prikaz osnovnih veličina vezanih za niveletu mosta

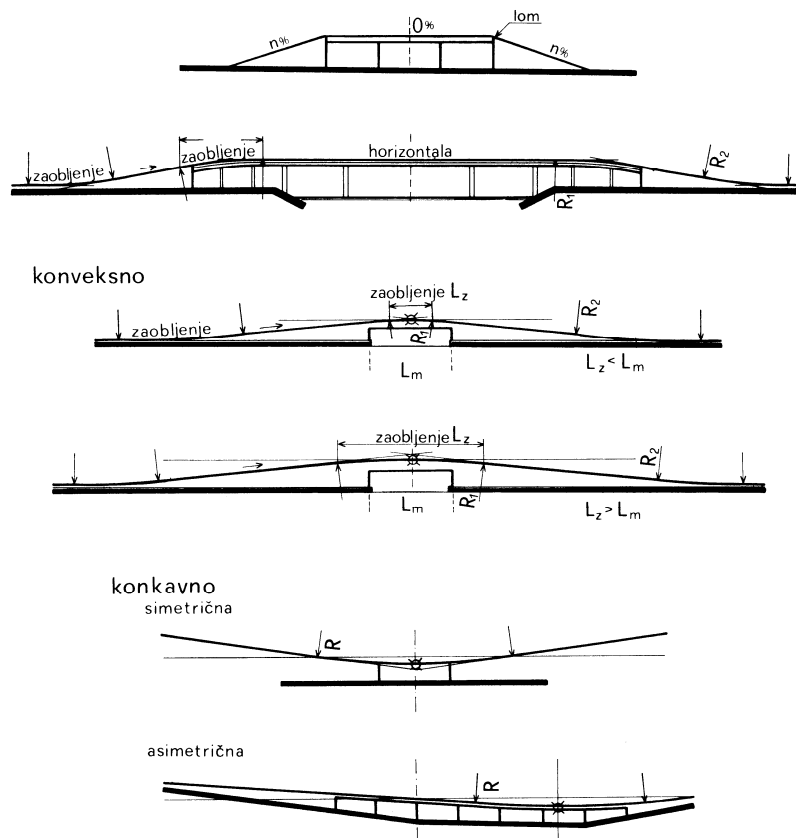
Ovi parametri se uglavnom odnose na cestovne mostove. Kod željezničkih mostova potrebno je imati male uspone i padove, pa su i visinske razlike u niveleti male.

Pri projektiranju mostova dobro je poštivati sljedeće preporuke:

- Kratka zaobljenja nivelete djeluju kao prijelomi,
- Izbjegavati svako naglo mijenjanje nivelete,
- Detaljno razmotriti problem odvodnje oborinskih voda,
- Detaljno razmotriti problem preglednosti,

3.4.3 Osnovni oblici nivelete

Po osnovnom obliku nivelete mogu biti ravne, i to vodoravne ili nagnute, zatim konveksne ili konkavne. Uz to postoje i valovite linije koje ubrajamo u složene oblike.



Crtež 3.6: Osnovni oblici nivelete i njihova obilježja

a) Niveleta u pravcu

Potpuno horizontalne nivelete pogodne su za željezničke mostove s otvorenim kolnikom. Za cestovne mostove potrebno je prometnoj plohi dati uzdužni pad od barem 0.5% zbog odvodnje. Pri tome treba imati na umu da neravnost kolovoza koja nastaje kod uporabe pospješuje zadržavanje vode na kolniku.

Visinski odnosi između krajeva mosta, slobodni profil ili drugi razlozi mogu uzrokovati jednostrano ili dvostrano nagnutu niveletu.

b) Konveksna niveleta

Ovaj oblik nivelete je pogodan i za izgled mosta i za odvodnju. Ako se točka kulminacije nalazi u simetrali mosta, konstrukcija će biti simetrična. Zaobljenja ne smiju biti jaka zbog preglednosti ceste. Preporuča se da usponi i padovi ne budu veći od 3%, naročito ako na mostu imamo i pješачki promet.

c) Konkavna niveleta

Primjenjuje se na mjestima gdje se prometnica spušta s obje strane prema prijelazu (mostu). Vrlo je povoljna zbog preglednosti, ali nepovoljna za odvodnju (na najnižem dijelu potrebno povećati broj i veličinu slivnika i potrebno kvalitetno održavanje). Problem odvodnje se često može izbjeći postavljanjem najniže točke izvan mosta.

d) Složeni oblici

Kod dugih mostova mogu nastati valoviti oblici nivelete (kombinacije konveksnih konkavnih i nivelete u pravcu). Mnogobrojne su kombinacije oblika, naročito u čvorištima gdje se krakovi ceste isprepliću tlocrtno i visinski.

3.5 TEMELJENJE

O uvjetima temeljenja bitno ovisi prikladnost uzdužne dispozicije, veličina otvora, izbor gradiva, tip i statički sustav rasponske konstrukcije, troškovi i vrijeme građenja. Ako je temeljno tlo čvrsta stijena, tada na njega možemo predati velike vertikalne i horizontalne sile, pa možemo razmišljati o mostovima osebujnih rasponskih sklopova. Naprotiv, na lošem tlu prisiljeni smo graditi mostove jednostavnih statičkih sustava i manjih raspona. Ponekad temeljenje može predstavljati najkompleksniji i najskuplji dio mosta, kao npr. temeljenje u mulju ili močvarnim tlima (šipovi, bunari), ili temeljenje u vodi ili moru (kesoni).

Općenita je praksa da se na temelju geoloških karata i vizualnog pregleda terena da globalna ocjena karakteristika temeljnog tla i odredi način temeljenja. Projektant tada izrađuje idejno rješenje mosta (jedno ili više njih), na osnovi kojeg se donose odluke o načinu i opsegu vršenja istražnih radova.

Terenska istraživanja obično se sastoje od geotehničkih bušotina i seizmogeoloških ispitivanja. Općenito se preporuča sljedeći broj i raspored bušotina:

- Za mostove do 30 m, po jedna bušotina dubine 10 m ispod svakog upornjaka i eventualno jedna u sredini;
- Za mostove 30-100 m po jedna bušotina dubine 10-15 m kod svakog upornjaka i bar jedna u sredini;
- Za mostove dulje od 100 m po jedna bušotina kod svakog stupa i po dvije kod svakog upornjaka (ako je nepoznat položaj stupova i upornjaka, bušotine je potrebno postavljati na razmaku 15-20 m);

3. Uvjeti za projektiranje i izvedbu mostova

- Za velike i široke mostove po dvije bušotine ispred i iza svakog stupa i upornjaka.

Seizmogeološka ispitivanja obično se provode duž trase mosta, i sa rezultatima iz bušotina daju geološku sliku terena na kojem se most gradi. Ako geološki sastav tla nije u potpunosti jasan, tada treba povećati broj i dubinu bušotina. Pri tome je potrebno u nosivi sloj tla ući bar 3 m, a u liticu u predjelima krša bar 4 m.

Geotehničkim ispitivanjima potrebno je definirati parametre nosivog tla kao što su:

- Nosivost tla,
- Slijeganje,
- Vodopropusnost,
- Vodostaj podzemne ili nadzemne vode,
- Prirodna vlažnost tla,
- Sposobnost upijanja vode,
- Zapreminska težina,
- Sastav zrnatosti,
- Granicu plastičnosti,
- Adheziju, koheziju i unutrašnje trenje, itd.

Jedan od osnovnih parametara koje ova istraživanja trebaju ispitati je veličina slijeganja temeljnog tla. Različiti sustavi konstrukcija su različito osjetljivi na slijeganje, pa je veličina slijeganja je direktno vezana za odabir konstruktivnog sustava mosta.

Također bitna stvar kod temeljenja je nivo podzemne i/ili nadzemne vode. Važno je napomenuti da nije podesno raditi temelje bez crpljenja vode (betoniranje u vodi). Prisutnost nepropusnih slojeva na dohvatnoj dubini znači bitno olakšanje radova. Treba imati na umu da cijena radova kad je prisutna voda raste približno s kvadratom dubine računajući od površine vode.

U nekim rješenjima nosivih sklopova mostova teško je odijeliti temelje od ostalog donjeg ustroja, a ponegdje i od gornjeg ustroja mosta. Tada su i promatranja problema temeljenja ograničena na mogućnosti izgradnje, a funkcioniranje nosive konstrukcije je cjelina koju kao takvu treba i provjeravati.

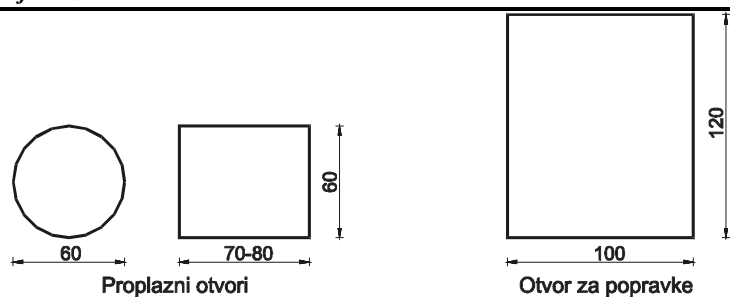
3.6 SLOBODNI PROFILI

Slobodni profili predstavljaju minimalne otvore kroz koje može prolaziti određeni promet preko mosta ili ispod njega. Slobodne profile propisuju uprave za čije potrebe ti prolazi služe. Za različite vrste mostova i različiti promet na njima, slobodni profili su različiti kako oblikom tako i dimenzijama. Projektant je dužan poštivati barem minimalne slobodne profile, no preporučljivo je odabrati i veće dimenzije od minimalnih.

Ovdje će se navesti samo najosnovniji slobodni profili.

3.6.1 Slobodni profili za popravke i održavanje mostova

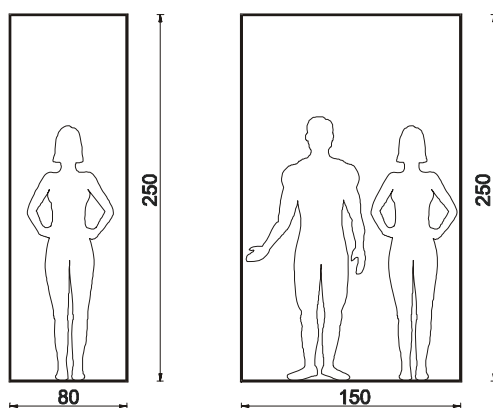
Za određeni broj mostova, npr. sandučasti gredni mostovi, lučni mostovi, treba predvidjeti prolaze za održavanje, čišćenje i popravke. Minimalne dimenzije otvora koje treba predvidjeti dane su na crtežu 3.7.



Crtež 3.7: Dimenzije otvora na mostovima za prolaz, čišćenje i popravke

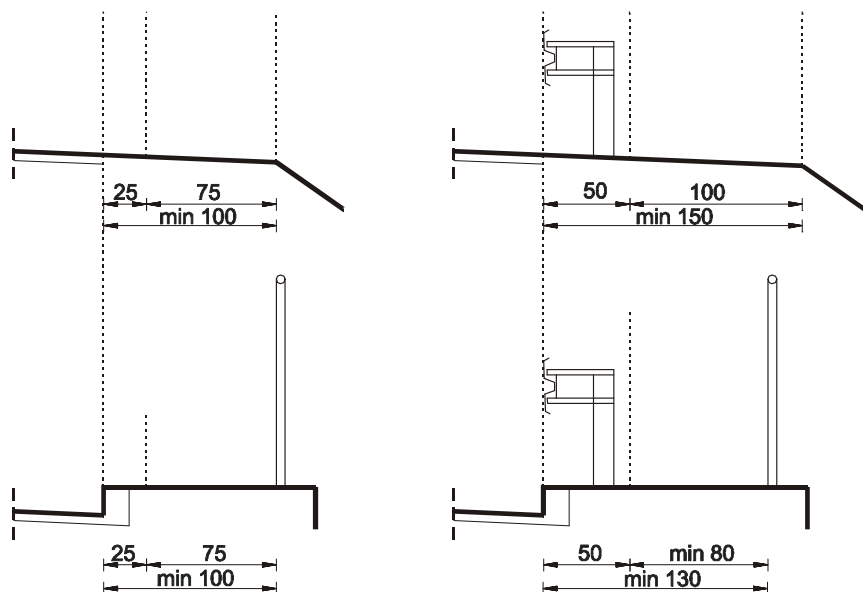
3.6.2 Slobodni profili za pješake

Minimalna širina za jednog prolaznika je 75 cm, ali se općenito može preporučiti 80 cm za jedan niz prolaznika (crtež 3.8). Kad se pješački hodnici nalaze u sastavu kolnika, osnovnoj širini moramo dodati i zaštitni trak, koji je obično širok barem 25 cm, pa je minimalna širina hodnika 100 cm.



Crtež 3.8: Minimalni slobodni profili za prolaz pješaka

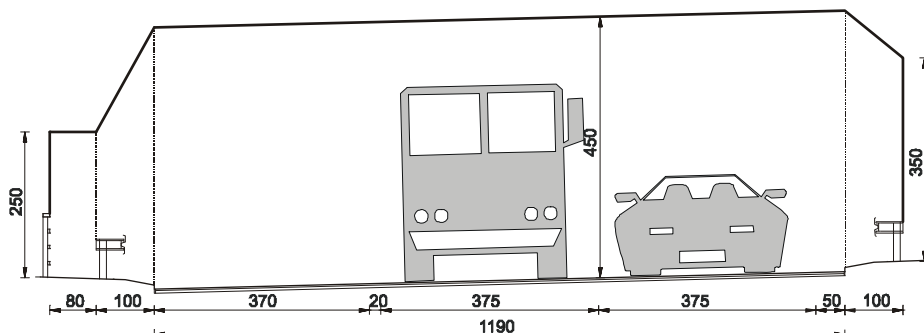
Kada se uz rubove kolnika postavljaju odbojnici za njih se rezervira posebni trak širok obično 50 cm, a snjegove vanjske strane se predviđa pješački hodnik. Primjeri su vidljivi na crtežu 3.9.



Crtež 3.9: Primjeri nekih minimalnih dimenzija pješačkih prolaza uz cestovne kolnike

3.6.3 Slobodni profili za cestovna vozila

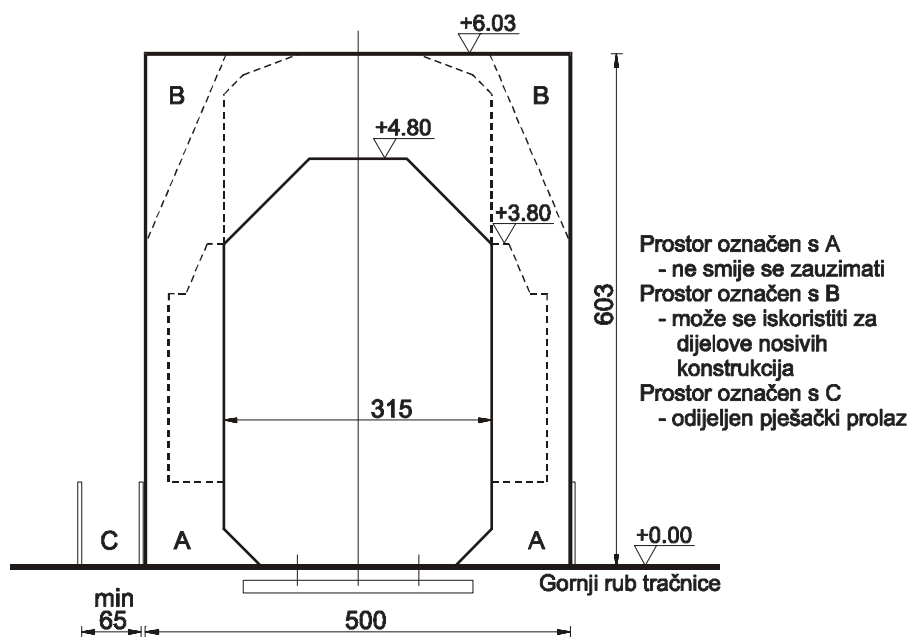
Širinu cestovnog mosta potrebno je uskladiti s širinom ceste na otvorenim potezima prometnica. Širina kolnika je ista, a rubne trake, zaštitne trake, trake za smještaj odbojnika, pješački prolazi i hodnici obično se razlikuju. Jedan primjer slobodnog profila za autoceste i mostove nad njima (nadvožnjaci) prikazan je na crtežu 3.10.



Crtež 3.10: Slobodni profili za autoceste

3.6.4 Slobodni profili za željeznicu

Za željezničke mostove kod nas se koriste slobodni profili koje propisuje Unija europskih željeznica. Na crtežu 3.11 prikazan je orijentacioni slobodni profil za pruge normalnog kolosijeka.



Crtež 3.11: Slobodni profili za željeznice

4. Nosivi sklopovi konstrukcija mostova

4.1 GREDNI MOSTOVI

U presjecima rasponske konstrukcije grednih mostova pojavljuju se praktično samo momenti savijanja i poprečne sile, eventualno momenti torzije, dok su uzdužne sile male i praktično zanemarive. Osnovna koncepcija formiranja nosivog poprečnog presjeka ovih konstrukcija sastoji se u izboru dostatno visokog nosača velike krutosti na savijanje i zadovoljavajuće krutosti na posmik. U tom smislu odabiru se presjeci s dovoljno širokim pojasevima i relativno uskim rebrom, a sve u cilju manjeg utroška i racionalnog korištenja gradiva. U slučaju veće torzije koriste se sandučasti presjeci gredne rasponske konstrukcije. Teoretski gledano može se općenito reći da su za izradu grednih konstrukcija najoptimalnija gradiva koja imaju podjednaku tlačnu i vlačnu čvrstoću. U tom pogledu prednost imaju metalne gredne konstrukcije. Kako bi se što više smanjio utrošak gradiva za gredne konstrukcije, a time i sile od vlastite mase nosača, ekonomična je upotreba rešetkaste ispune nosača.

Za masivne gredne mostove moglo bi se na prvi pogled reći da nisu tako povoljni pri savijanju, jer beton ima malu vlačnu čvrstoću pa u vlačnim zonama zahtijevaju relativno veliku armaturu a imaju i značajna naprezanja od vlastite težine. Naime, logična je i efikasna primjena betona u nosivim sustavima s pretežitim utjecajem prirodne uzdužne tlačne sile (primjerice u lučnim nosačima). Međutim, primjenom umjetnog prednapinjanja betonskih nosača s pomoću visokovrijednog čelika izaziva se predtlak gotovo u čitavom presjeku nosača. Ovo omogućava značajno smanjenje i bolju iskoristivost betona, manju masu nosača i mogućnost svladavanja većih raspona, te znatno trajniju konstrukciju u odnosu na onu iz klasično armiranog betona. Ipak, do raspona od oko 20-tak metara u našim su prilikama još uvijek racionalnije klasično armirane konstrukcije u odnosu na prednapete. Razlog ovomu je uglavnom relativno velika cijena prednapete armature i elemenata za njeno usidrenje, koji se kod nas ne proizvode, ali i stanovita inercija projekatanta i izvođača u primjeni prednapetog betona.

Armiranobetonske, klasične i prednapete gredne konstrukcije imaju veliku prednost u jednostavnosti i brzini njihove izrade, te lakoći formiranja konstruktivno i oblikovno povoljnih formi nosača. Primjenom montažne gradnje relativno laganih čitavih glavnih nosača manjih raspona, betonski gredni mostovi imaju sve kraće vrijeme izvedbe i sveukupno sve manje troškove građenja. Tome posebno doprinose neki novi suvremeni postupci građenja (primjerice potiskivanje čitavog rasponskog sklopa) i neki novi sustavi (primjerice konzolne grede i konzolni stolovi). Mnoštvo izvedenih betonskih grednih mostova u svijetu stoga nije pomodarstvo, već njihova racionalnost i logičan slijed tehnološkog napretka u graditeljstvu. Može se slobodno reći da su betonske gredne konstrukcije vrlo konkurentne na svim rasponima veličine do oko 200 m. Kod nas one praktično dominiraju pri izradi klasičnih nadvožnjaka, podvožnjaka i vijadukata na prometnicama. Do sada najveći raspon betonskog grednog mosta postignut je u Australiji preko rijeke Brisbane i iznosi 260 m.

U cilju smanjenja vlastite težine betonskih grednih mostova, umjesto punostijenog hrpta danas se ponekad koriste rešetkasta ispuna iz predgotovljenih betonskih elemenata.

Najveći rasponi grednih konstrukcija postižu se s pomoću čeličnih glavnih nosača. Do sada je najveći raspon postignut na mostu Quebec Railway u Kanadi i iznosi 549 m. Valja priznati da je kod nas relativno mala zastupljenost čeličnih grednih mostova u odnosu na betonske, ali objektivno i nedovoljno snažna izvođačka i montažerska poduzeća. Jednostavnost i brzina izvođenja čeličnih grednih mostova njihove su velike prednosti. Razvojem suvremene tehnologije vezivanja i zavarivanja limova i profila, postupaka brze i racionalne montaže

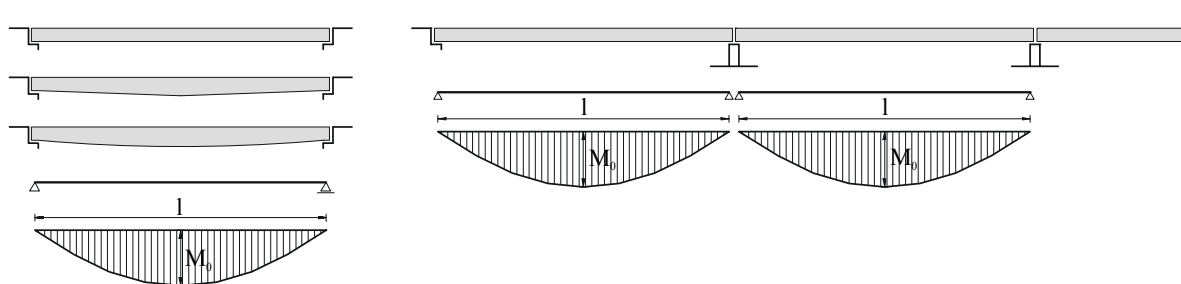
(primjerice s pomoću konzolnog postupka ili navlačenjem čitavog rasponskog sklopa) kao i postupka pouzdane i trajne antikorozivne zaštite, osigurava se još svjetlija perspektiva primjene čeličnih grednih mostova.

Zbog najboljeg iskorištenja prirodnih naponsko-deformacijskih osobina i čvrstoća nosivih gradiva logično se nameće upotreba kompozitnih presjeka grednih mostova. U tom smislu već poodavno se efikasno koriste tzv. spregnute konstrukcije. To su najčešće konstrukcije iz čelika i betona, kod čega se globalno beton koristi za preuzimanje tlaka a čelik za preuzimanje posmika i vlaka. S tim u svezi vrši se sprezanje betonske kolničke ploče s laganim punostijanim ili rešetkastim čeličnim nosačima. Ovakve konstrukcije imaju sve dobre osobine betonskih i čeličnih konstrukcija (primjerice: relativno su lagane; jednostavno, brzo i lako se izvode i montiraju, trajne su i pouzdane), što ih čini jednim od najoptimalnijih grednih konstrukcija.

Za izradu grednih mostova koriste se glavne grede slijedećih nosivih (statičkih) sustava:

4.1.1 Proste grede

Prosta greda, zapravo slobodno oslonjena greda na dva oslonca najčešće je primjenjivani nosivi sustav konstrukcija mostova (vidi crtež 4.1). Koristi se za mostove s jednim ili više otvora, a osobito kod montažne gradnje. Prednosti ovog sustava su jednostavnost izvedbe i mogućnost prefabrikacije velikog broja jednakih elemenata. Nedostaci su mu nešto povećana visina konstrukcije, jer je treba dimenzionirati na punu vrijednost momenta, te pojava poprečnih prekida u kolniku iznad oslonca u koje treba ugraditi dilatacijske naprave. Računski se prosta greda najčešće tretira s jednim pokretnim ležajem, a ponekad s oba nepokretna ležaja. U stvarnosti su svi ležajevi najčešće elastično pokretni, bilo da su neoprenski ili klasični betonski zglobovi na vrhu horizontalno pomičnih stupova upornjaka. Za proste grede je najbolje da imaju konstantnu visinu, odnosno da su im pojasevi usporedni duž čitave duljine. O obliku nivelete mosta ovisit će da li će linije pojasa biti vodoravne, nagnute ili vertikalno zakrivljene. Eventualno mogu biti zanimljiva i rješenja s promjenjivom visinom po duljini greda, prilagođenoj momentima savijanja.



Crtež 4.1: Prosta greda (slobodno položena greda)

4.1.2 Proste grede s pločama za kontinuitet

Kako je već rečeno, jedan od osnovnih nedostataka mostova iz prostih greda s više polja je redovita pojava poprečnih reški u kolniku iznad stupova. One umanjuju prometnu vrijednost mosta i nameću potrebu ugradnje brojnih dilatacijskih naprava, koje pak imaju ograničen vijek trajanja i najčešća su mjesta oštećenja kolnika i prodora vode u unutrašnjost nosivog sklopa. Ove se reške mogu premostiti s pomoću tankih ploča za kontinuitet koje se mogu riješiti na više načina.

Jedno od mogućih rješenja je s tankim pločama iz čeličnog lima. Ploče je potrebno na oba kraja učvrstiti prednapetim vijcima za kolničku ploču, kako bi mogli preuzeti horizontalna opterećenja s kolovozne plohe, te okretanja susjednih rasponskih nosača na ležaju. Ova

učvršćenja trebaju biti tako riješena da je moguća brza i jednostavna zamjena ploča u slučaju njihova oštećenja.

Kod krute veze tanke ploče za kontinuitet i rasponske konstrukcije velike krutosti dobiva se specifičan statički neodređeni sustav kod kojeg kontinuitetna ploča prima značajne vlačne sile. Ovakav se sustav smije koristiti kod oslanjanja rasponskih nosača na pokretne ili elastično pokretne ležajeve u smjeru pružanja mosta. Teoretski nepomični ležajevi izazvali bi vlačnu silu kod klasičnog kontinuiranog nosača. Stoga treba nastojati da u slučaju ovakvih kontinuitetnih ploča ležajevi pružaju što manji otpor uzdužnom pomicanju i okretanju rasponskih nosača na ležaju.

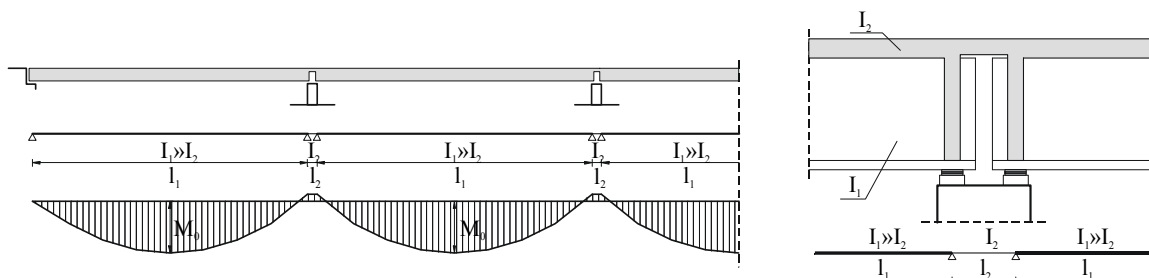
Pri proračunu presjeka glavnih rasponskih nosača u polju, utjecaj ploča za kontinuitet se ne uzima u obzir. Kontinuitetne ploče treba proračunati na lokalno savijanje od vertikalnog opterećenja, te istovremene vlačne sile uslijed savijanja glavnih rasponskih nosača.

Posljedica neadekvatnog proračuna i armiranja armiranobetonskih ploča za kontinuitet često je bila pojava u njima značajnih oštećenja (pukotina), što je neke navodilo na pogrešne zaključke kako ovakva rješenja globalno nisu dobra.

Precizni proračun ovakvih sustava, uključujući u obzir i dugotrajne efekte u betonu, danas nebi trebao predstavljati veću poteškoću. Da bi se što više smanjile širine eventualnih pukotina, ploču za kontinuitet je dobro armirati sa što tanjim profilima na manjem poprečnom razmaku, ili pak uzdužno prednapeti (ovo komplicira i poskupljuje izvedbu, pa se rijetko koristi).

Betonske ploče za kontinuitet mogu se izvesti i sa zglobovima na krajevima. Ovakva rješenja su za izvedbu složenija od prethodno navedenih. Neka rješenja sa zglobno vezanim kontinuitetnim pločama prikazana su na crtežu 4.2.

Ovakve se ploče prvenstveno računaju na lokalno savijanje od vertikalnog opterećenja.

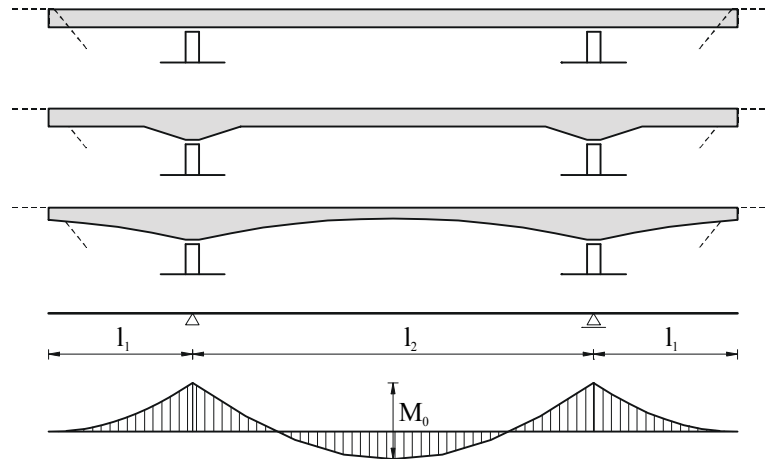


Crtež 4.2: Proste grede s pločama za kontinuitet

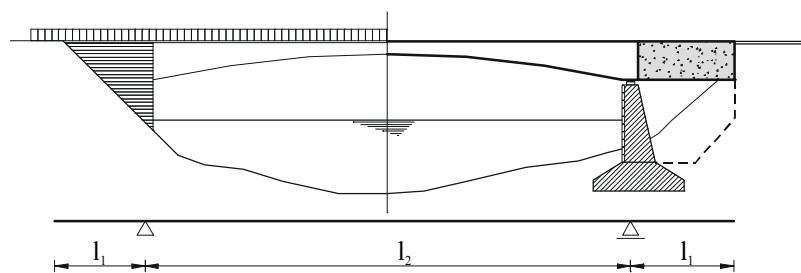
4.1.3 Proste grede s prepustima

Ovakve grede nastaju kada se na prostoj gredi produži konstrukcija izvan oslonaca u obliku prepusta ili konzole (vidi crtež 4.3). Zbog negativnih momenata na ležaju smanjuju se momenti savijanja u polju, pa greda može imati manju visinu. Duljina prepusta ograničena je dopustivim progibanjem konzolnog nosača na mjestu prijelaza sa mosta na nasip. Ona se može skratiti ako se iza upornjaka izvede protuutez koji može izazvati željeni negativni moment na ležaju. Nedostatak ovakvog rješenja je povećana težina rasponske konstrukcije, zbog čega se povećavaju dimenzije ležaja i upornjaka.

Grede s prepustima također mogu imati nosače konstantne ili promjenjive visine po duljini, ovisno o estetskim zahtjevima, načinu izvedbe i zahtijevanom slobodnom profilu ispod mosta. Kod većih raspona obično se koriste nosači promjenjive visine i zakrivljenog donjeg pojasa. Kod greda s protuutezima (vidi crtež 4.4) prepusti su obično skriveni krilima upornjaka.



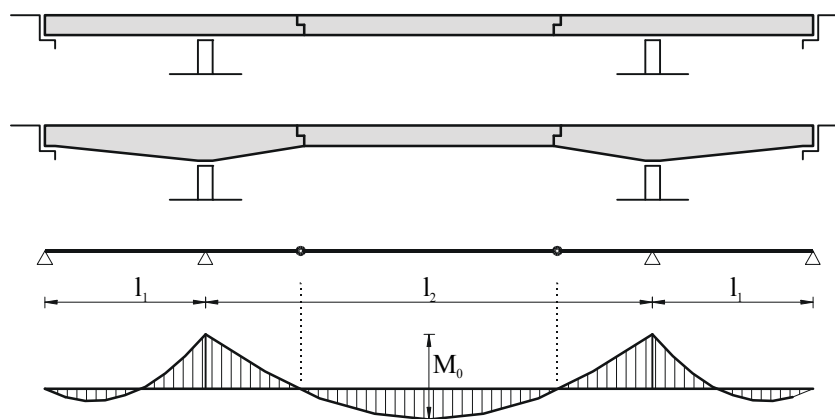
Crtež 4.3: Proste grede s prepustima



Crtež 4.4: Greda s protuutezima

4.1.4 Grede sa zglobovima

Grede sa zglobovima ili tzv. Gerberove grede (vidi crtež 4.5), su statički određeni nosači. Umetanjem zglobova na određenim mjestima može se postići povoljna razdioba momenata savijanja po duljini grede. Nedostatak ovih sustava je određeni broj poprečnih prekida u kolniku, te konstrukcija samih zglobova.

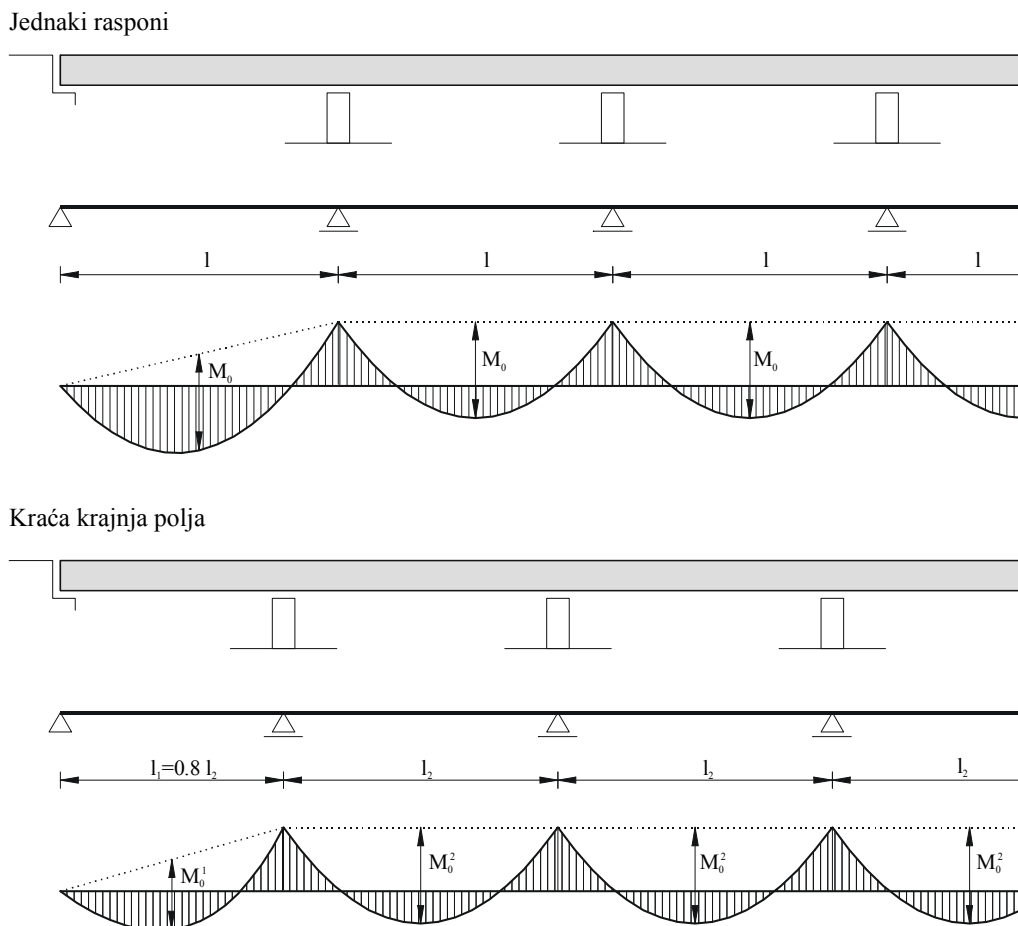


Crtež 4.5: Grede s zglobovima

4.1.5 Kontinuirane grede

U odnosu na niz prostih greda, kontinuirane grede (vidi crtež 4.6) imaju raspodijeljen moment na polja i ležajeve pa mogu imati manju visinu konstrukcije. Kod njih otpada potreba za poprečnim razdjelnicama u kolniku iznad stupova. Statička neodređenost kontinuiranih greda omogućava njihovu veću graničnu sigurnost. S druge pak strane, zbog statičke neodređenosti grede javljaju se u njoj dopunske sile uslijed eventualnog slijeganja oslonaca, što je zapravo glavni nedostatak ovog sustava. Obzirom da se hidrauličkim prešama vrlo jednostavno mogu podići nosači iznad oslonca i podložiti ležajevi, ovo se danas i ne smatra

njihovim velikim nedostatkom. U nedostatak kontinuiranih greda u odnosu na proste, spada i njihova složenija izvedba zbog potrebe osiguranja kontinuiteta iznad stupova.



Crtež 4.6: Kontinuirane grede

Kontinuirani nosači manjih i srednjih raspona najčešće se rade s konstantnom visinom po duljini mosta. Pri tome svi rasponi mogu biti jednaki ili se pak krajnji rasponi mogu izvesti za oko 20% kraći da bi se izjednačili momenti savijanja u poljima. Ponekad se koriste i ravni nosači s vutama uz oslonce. Kod mostova većih raspona glavni su nosači najčešće promjenjive visine, sa ravnim ili zakrivljenim donjim pojasom. Osim o rasponu, oblik glavnih nosača zavisi o slobodnom profilu ispod mosta i načinu izvedbe. Tako za postupke potiskivanja ili naguravanja čitavog rasponskog sklopa nosači moraju imati konstantnu visinu. Isto tako kod mostova većeg raspona s konzolnim načinom izvođenja racionalno je rješenje s velikom visinom nosača iznad oslonaca i malom visinom u polju.

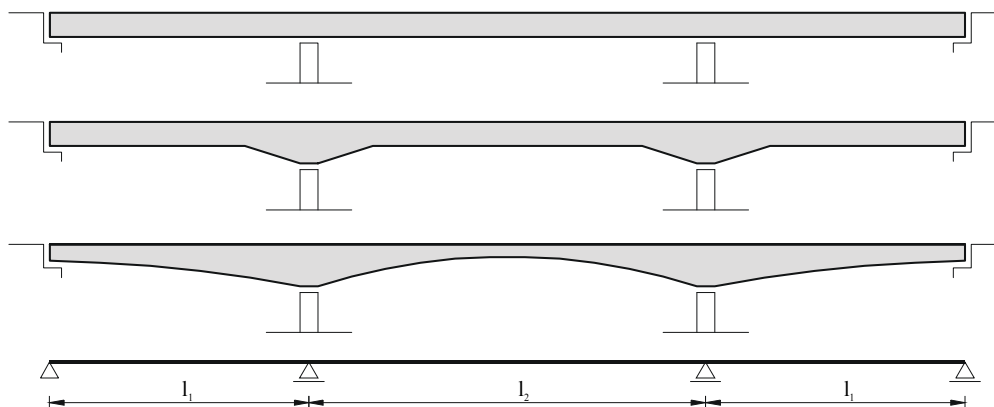
Odnos ovih visina ovisi o odnosu vlastite težine nosača, dopunskog stalnog tereta i prometnog opterećenja. Kod ovog tzv. balansnog postupka izvođenja krajnja su polja upola manja od srednjih. Za vrijeme izvedbe nužno je privremeno uklještenje grede na spoju sa stupom.

Rasponi često ovise o obliku uvale pa nije moguće dati "formulu" za njih.

Kontinuirani betonski gredni nosači raspona do oko 20-tak metara kod nas se najčešće armiraju klasičnom armaturom, a preko ovog raspona se prednaprežu. Kod manjih i srednjih raspona nosači su obično konstantne visine. Za raspone do oko 40 m kod nas se najčešće koristi predgotovljeni gredni nosač, a kontinuitet nad osloncima obično se postiže preko uzdužne armature u monolitnoj kolničkoj ploči. Kod toga se najčešće koristi klasična armatura zbog racionalnosti. Valja imati na umu da je kolnička ploča iznad oslonca uzdužno

vlačno opterećena, pa treba voditi računa o štetnim pukotinama i mjerama povećane trajnosti mosta. Zbog pojednostavljenja oplata, kontinuirani nosači konstantne visine rade se i na rasponima do oko 100 m. Kod velikih raspona najčešće se koriste nosači promjenjive visine sa zakrivljenim donjim pojasom i konzolni postupak izvedbe.

Na crtežu 4.7 prikazan je primjer kontinuirane grede s tri otvora, pri čemu su krajnji jednaki i manji od srednjeg.



Crtež 4.7: Kontinuirane grede

4.1.6 Konzolne grede

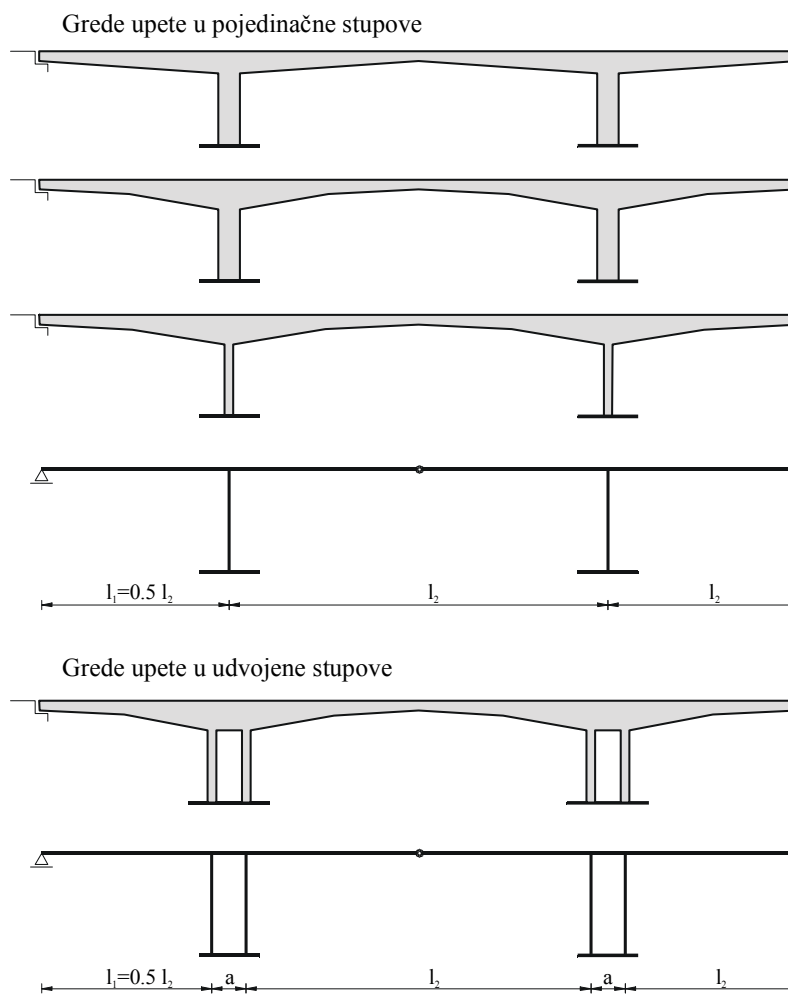
Konzolnim gredama (vidi crtež 4.8) nazivamo grede koje su upete u stupove, a u sredinama polja imaju zglbove koji mogu prenositi samo poprečne sile.

Dakle, na mjestu zgloba osiguran je samo zajednički vertikalni pomak konzola, dok su okretanja i horizontalni pomaci rebara konzola nezavisni. Ovaj statički sustav nije uobičajen u čeličnim, spregnutim konstrukcijama. Proizašao je iz konzolnog načina izvedbe rasponskih konstrukcija mostova iz prednapetog betona i vrlo se često koristi u gradnji masivnih mostova najvećih raspona. Osnovna je prednost ovog sustava statička određenost za djelovanje puzanja i skupljanja betona, te jednolike promjene temperature. Veliki mu je nedostatak dilatacijska naprava u sredini svakog polja.

U cilju poboljšanja ovog rješenja, moguća je i izvedba ploča za kontinuitet iznad zglobova na spoju konzola. Rasponska konstrukcija je u pravilu promjenjive visine, sa zakrivljenim donjim pojasom. Visina konstrukcije u sredini polja je minimalna. Konzolne se grede mogu izraditi i sa ravnim vutama.

U odnosu na kontinuirane grede koje se izvode konzolnim postupkom, ovdje nisu potrebna privremena uklještenja grede u stup je ona s njim trajno kruto povezana. Konzola može biti upeta u jedan uski ili široki stup ili pak u dva elegantna paralelna stupa na malom razmaku.

Najveći raspon betonskog grednog mosta s konzolnim gredama izveden je preko jezera Hamana u Japanu i iznosi 240 m.



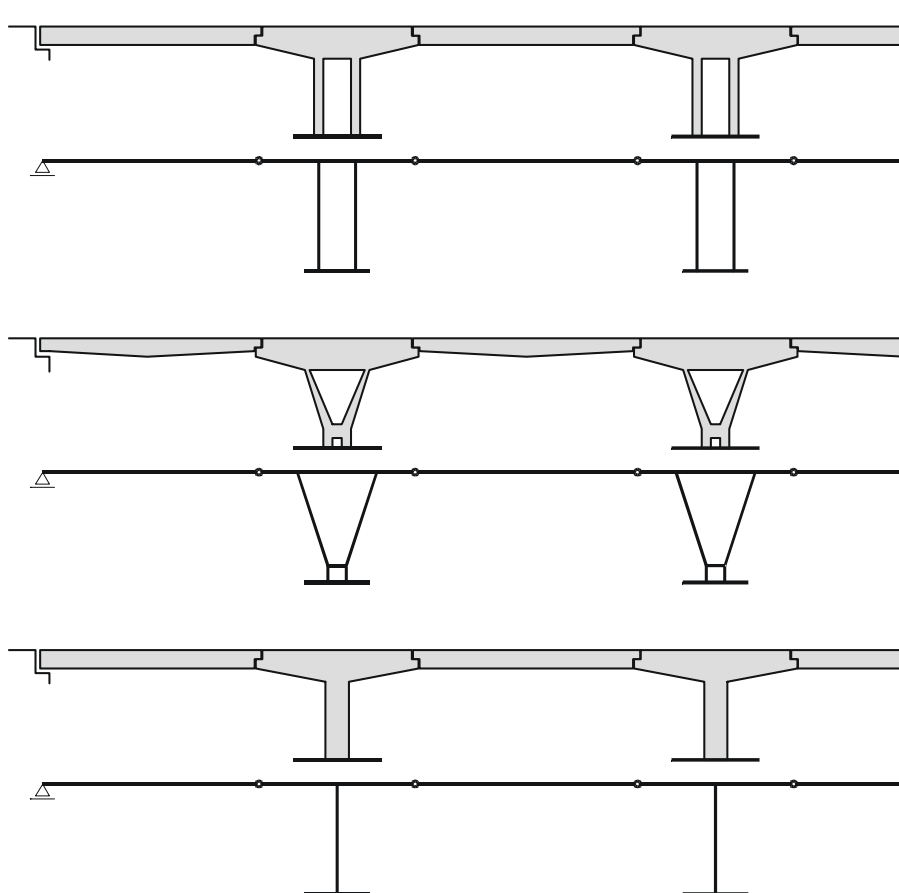
Crtež 4.8: Konzolne grede

4.1.7 Grede sa stolovima

Grede sa stolovima (vidi crtež 4.9) primjenjuju se u montažnoj gradnji kada s prefabriciranim elementima manje težine treba svladati veće raspone.

Naime, u ovom se sustavu sredina polja premoštava elegantnim gredama zglobno oslonjenim na krute stolove koje formiraju stupovi i dijelovi rasponskog sklopa. Po dva prekida u svakom polju rasponskog sklopa veliki su nedostatak ovog sustava. Ako se koriste neoprenski ležajevi za oslanjanje srednjeg montažnog dijela rasponske konstrukcije, može se iznad nepokretnog oslonca izvesti ploča za kontinuitet i time upola smanjiti broj poprečnih prekida kolnika.

Oblik greda sa stolovima može se formirati na više načina. Najjednostavnije su konstrukcije u kojima stol i srednja greda imaju jednaku visinu. Obično je visina srednje grede manja od visine stola koja je najčešće promjenjiva po duljini. Srednja greda također može imati promjenjivu visinu po duljini, prilagođenu momentima savijanja.



Crtež 4.9: Grede sa stolovima



Most Konrad Adenauer, Njemačka



Most Brisbane Cook, Australija

Crtež 4.10: Neki primjeri grednih mostova

4.2 OKVIRNI MOSTOVI

Okvirni sklopovi nastaju krutim povezivanjem rasponske konstrukcije sa stupovima ili upornjacima mosta. Najčešće se koriste kod mostova s jednim otvorom, ponekad kod mostova s dva i tri otvora, a rijetko kod mostova s nizom otvora. Za razliku od grednih mostova u presjecima rasponske konstrukcije okvirnih mostova pojavljuju se značajne uzdužne sile. Raspodjela momenata savijanja u okviru bitno ovisi o odnosu krutosti greda i stupova (vidi sliku). Tako se primjerice kod nadvožnjaka i podvožnjaka mogu postići male visine rasponske konstrukcije ako se upne u vrlo krute stupove (upornjake). Kod novih tehničkih izvedenih objekata postignute su čak vitkosti $l/h > 50$. Izvode se kao statički određene i statički neodređene konstrukcije.

Statički određeni okviri u pravilu su povoljniji kod manje kvalitetnog temeljnog tla s mogućnošću popuštanja i razmicanja oslonaca. Zahtijevaju nešto veće visine presjeka nosivog sklopa, ali imaju racionalnije temelje. Statički neodređeni okviri imaju manju visinu nosivih presjeka elemenata, ali zato zahtijevaju nešto veće temelje (kod potpune ili elastične napetosti stupa). Osjetljivi su na eventualna diferencijalna slijeganja i razmicanja oslonaca, te su pogodni kod kvalitetnog temeljnog tla. Imaju povećanu stvarnu sigurnost na slom zbog svoje statičke neodređenosti. Okviri koji imaju krajnje stupove upete, a posebice ako su niski, osobito su osjetljivi na temperaturne promjene i skupljanje betona rasponske konstrukcije. Stoga se koriste samo za mostove manje duljine.

Stupovi okvira mogu biti vertikalni i kosi. Presjeci nosivih elemenata mogu biti konstantne i promjenjive visine po duljini, s vutama ili zakrivljenim donjim pojasom rasponske konstrukcije.

Kod okvirnih mostova najčešće se koriste niže navedeni nosivi sustavi, koji su prikazani na slikama.

Kvalitativno skicirani momenti savijanja elemenata okvira odnose se samo na stalno vertikalno opterećenje, bez utjecaja prometnog opterećenja, potiska tla i drugih utjecaja.

4.2.1 Okviri s jednim poljem

Okviri s jednim poljem vrlo često se koriste kod podvožnjaka, ali i kod nadvožnjaka i većih mostova. Na crtežu 4.10 prikazani su neki najčešće korišteni tipovi ovakvih okvira, čija su osnovna obilježja ukratko niže opisana.

4.2.1.1 Trozglobni okviri

Trozglobni su okviri statički određene konstrukcije, u kojima se stoga ne pojavljuju nikakve dodatne sile od jednolike promjene temperature, popuštanja i razmicanja oslonaca, te utjecaja puzanja i skupljanja betona. Nedostatak ovog sustava je prekid u kolničkoj konstrukciji iznad zgloba u prečki okvira. Relativne deformacije kolnika na mjestu prekida javljaju se samo uslijed promjene kuta zaokreta konstrukcije. Kod betonskih mostova zglobovi su najčešće napravljeni od betona, a kod metalnih i drvenih iz čelika. Rasponska konstrukcija i stupovi su najčešće promjenjive visine, prilagođeni momentima savijanja, ali kod manjih raspona mogu biti i konstantne visine po duljini.

4.2.1.2 Dvozglubni okviri

Dvozglubni su okviri jedanput statički neodređeni sustavi. Nisu osjetljivi na jednolike temperaturne promjene, različita slijeganja temelja, već samo na razmicanje oslonaca. U odnosu na trozglobne okvire imaju prednost jer im kolnik iznad rasponske konstrukcije nije

prekinut. Greda je najčešće konstantne visine presjeka po duljini. Stupovi su obično promjenjive visine prilagođene momentima savijanja.

4.2.1.3 Upeti okviri

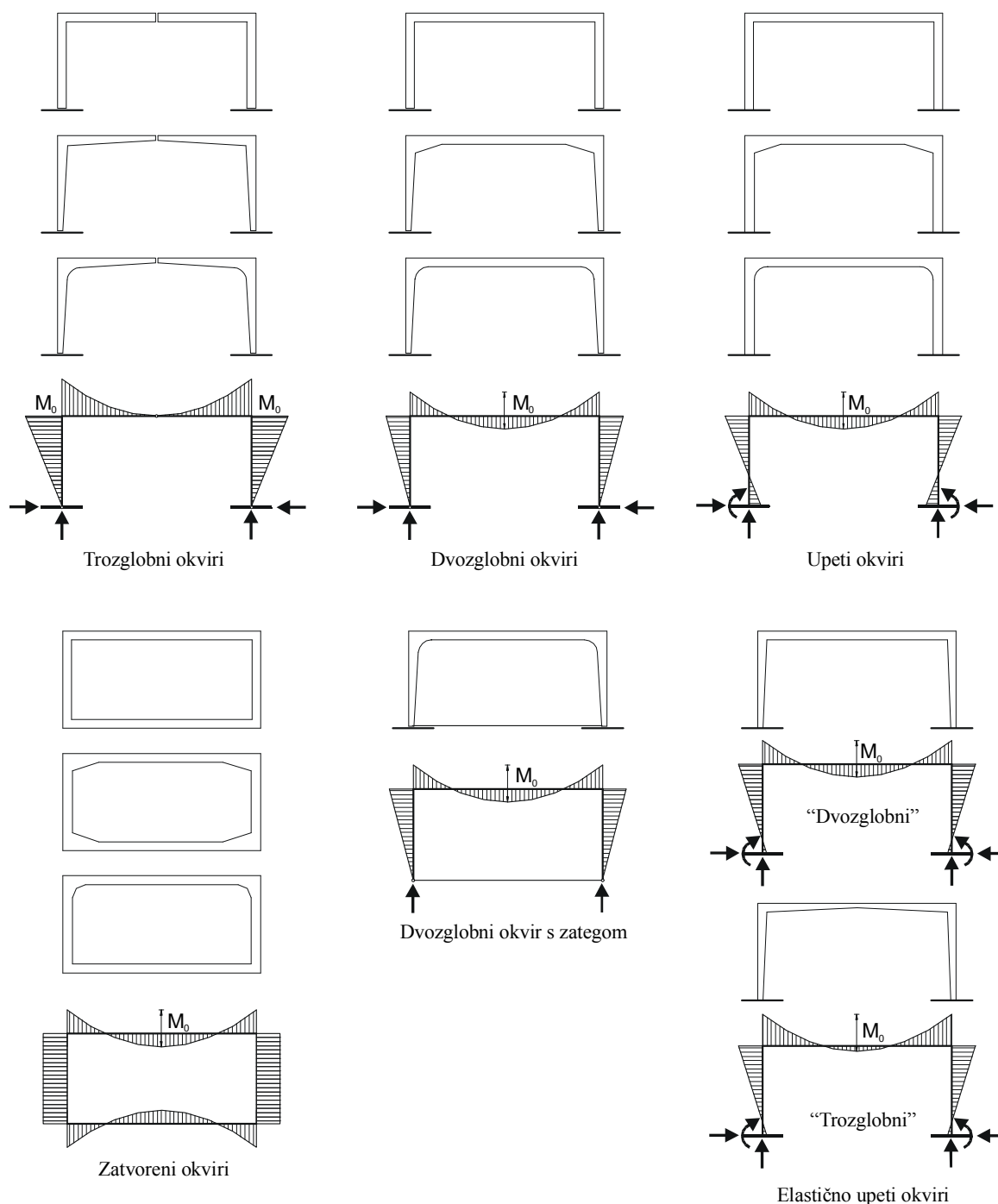
Upeti su okviri posebno prikladni za manje podvožnjake. Zbog nepovoljnog utjecaja temperaturnih promjena i skupljanja betonske rasponske konstrukcije, često je nužno smanjiti krutost stupova i okvira. Ako upornjak ima paralelna ili kosa krila nužno ih je dilatirati od stupa upornjaka. U odnosu na dvozgladne okvire imaju bolje izjednačene momente savijanja u gredi, koja time može biti nešto manje visine, ali i veće izmjere temelja jer su oni ovdje opterećeni i momentima savijanja.

4.2.1.4 Zatvoreni okviri

Zatvoreni se okviri primjenjuju kod pothodnika i drugih prolaza manjeg otvora pri lošem temeljnom tlu ili pri visokoj podzemnoj vodi. Ovi se sustavi također koriste i kod prevođenja podzemne željeznice ispod gradskih ulica. Donja ploča okvira kod njih ujedno predstavlja i temeljnu ploču. Zatvoreni okviri prenose na tlo samo vertikalno opterećenje.

4.2.1.5 Elastično upeti okviri

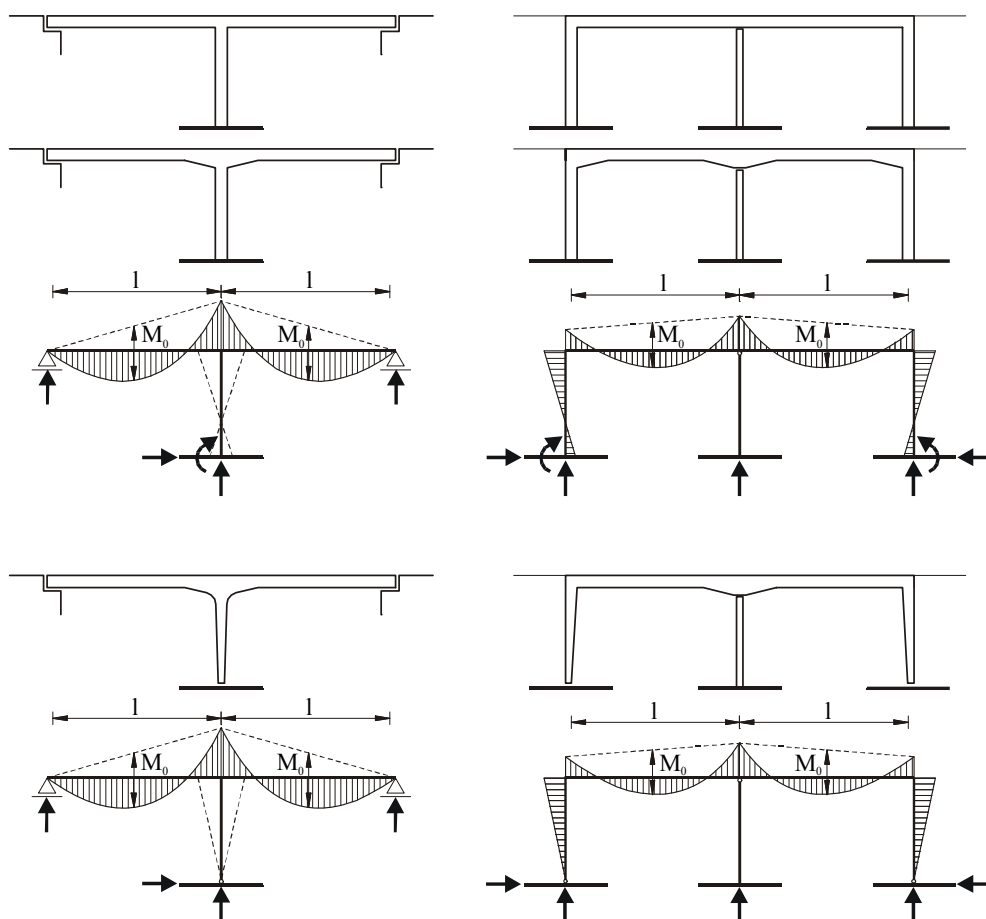
Da bi se izbjegli nepoželjni zglobovi kod dvozglodnih i trozglodnih okvira može se na njihovom mjestu znatno smanjiti krutost presjeka, a time i veličine momenta savijanja svesti u željene okvire. Ovakva rješenja sa tzv. elastičnim zglobom posebno su prikladna kod betonskih mostova manjih i srednjih raspona. Ona pojednostavljaju i pojeftinjuju izvedbu, te produljuju trajnost objekta. Pozornost treba obratiti ispravnom armiranju zona elastičnih zglobova.



Crtež 4.11: Neki primjeri okvira s jednim poljem

4.2.2 Okviri s dva polja

Mostovi s dva otvora nisu povoljni s oblikovnog stanovišta i rijetko se koriste. Neki tipovi ovih okvira prikazani su na crtežu 4.11. U slučaju krutih upornjaka prečku okvira treba na njih osloniti preko pomičnih ležaja radi eliminiranja utjecaja dilatiranja rasponskog sklopa. Ako je pak greda kruto vezana sa stupom upornjaka, povoljno je da on bude što manje krut na savijanje iz sličnih razloga. Zbog negativnog utjecaja temperature i skupljanja betona povoljnije je da krajnji stupovi budu zglobno vezani s temeljem ili pak da budu u njih elastično upeti. Povoljno je da srednji stup ne bude preširok radi bolje preglednosti ispod mosta i estetskog doimanja objekta. Primjena V stupova omogućava skraćivanje raspona glavne grede, pri čemu oni ne smiju zadirati u slobodni profil ispod mosta.



Crtež 4.12: Neki okviri s dva polja

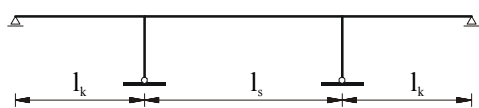
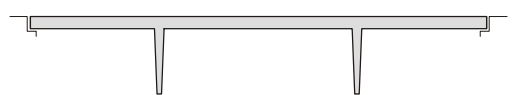
4.2.3 Okviri s tri polja

Okviri s tri polja često se primjenjuju kod nadvožnjaka, te mostova manjeg i srednjeg raspona. Kod toga su krajnja polja redovito kratka, dok je srednje polje znatno duže. Odnosi raspona obično ovise o karakteru prepreke koju treba premostiti. Ovakav odnos otvora je povoljan s estetskog stanovišta, te se ovakve uzdužne dispozicije mostova često koriste. Stupovi mogu biti uspravni ili kosi, zglobno ili kruto vezani s gredom i temeljem.

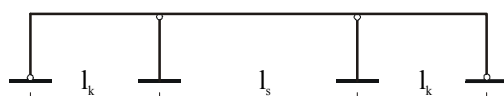
U betonskim mostovima umjesto klasičnih zglobova često se koriste elastični zglobovi s redukcijom visine presjeka i pojačanom armaturom u njegovoj zoni. Neki češće korišteni tipovi ovakvih okvira prikazani su na crtežu 4.12. U nastavku će se ukratko navesti njihova osnovna obilježja.

4.2.3.1 Okviri s kratkim krajnjim profilima i uspravnim stupovima

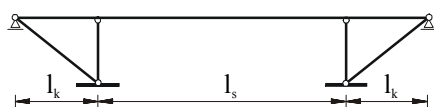
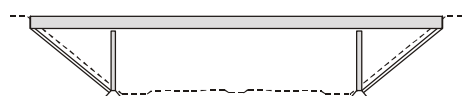
Stupovi ovakvih mostova najčešće su zglobno spojeni s temeljem, a osobito rubni zbog pružanja manjeg otpora dilatiranju rasponske konstrukcije. Srednji stupovi imaju manje momente savijanja od vertikalnog opterećenja, kao i dopunske utjecaje zbog dilatiranja grede, te stoga mogu biti tanjih dimenzija. Ovo je povoljno i s oblikovnog stanovišta. U slučaju vrlo krutih upornjaka prečke okvira treba na njih osloniti s pomoću pokretnih ležaja.



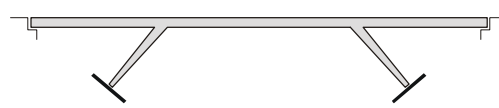
Dvozglubni okviri s kratkim krajnjim poljima i uspravnim stupovima



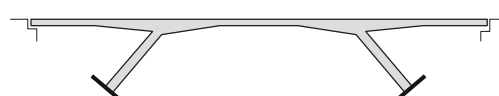
Kontinuirani okvir s zglobno priključenim krajnjim stupovima



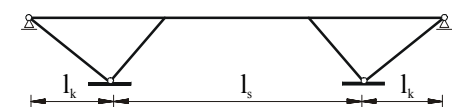
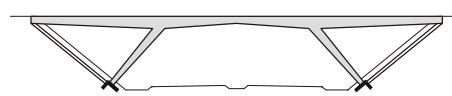
Dvozglubni okviri s kratkim krajnjim poljima i V stupovima



Dvozglubni okviri s kratkim krajnjim poljima i kosim stupovima



Upeti okviri s kratkim krajnjim poljima i kosim stupovima



Dvozglubni okviri s kratkim krajnjim poljima i V stupovima

Crtež 4.13: Neki okviri s tri polja



Most Rječina, Rijeka, Hrvatska

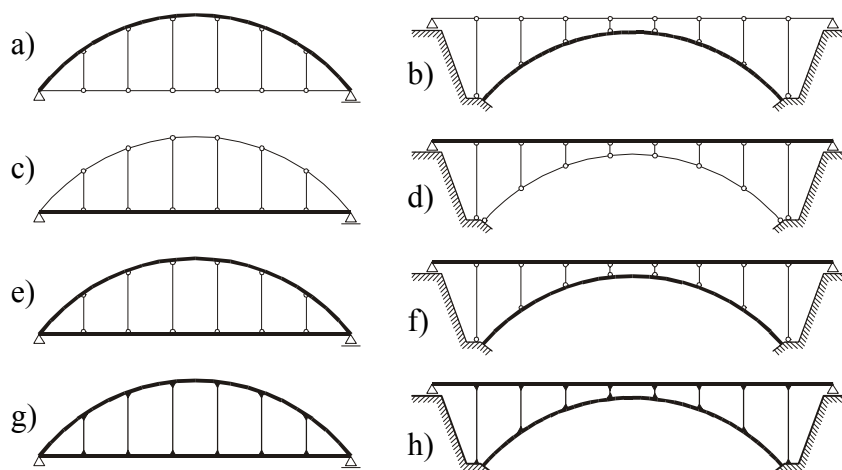
Crtež 4.14: Neki primjeri okvirnih mostova

4.3 LUČNI MOSTOVI

Lučni mostovi su konstrukcije kojima je osnovni nosivi sustav luk ili svod. Iako ne postoji strogo razgraničenje između luka i svoda, može se reći da je luk male, a svod veće širine.

Općenito, može se reći da su lučni nosači zakrivljeni nosači velikog radijusa u odnosu na dimenzije poprečnog presjeka. Opterećenje izaziva uzdužnu tlačnu silu u luku koja dominira u odnosu na momente i poprečne sile. Ta pojava, tzv. lučno (svodno) djelovanje nastaje zbog fiksnog oslanjanja i zakrivljenosti osi luka, koja je najčešće oblika kružnog luka, parabole ili polinoma višeg reda. Sama os luka se određuje iz statičkih uvjeta za određena opterećenja.

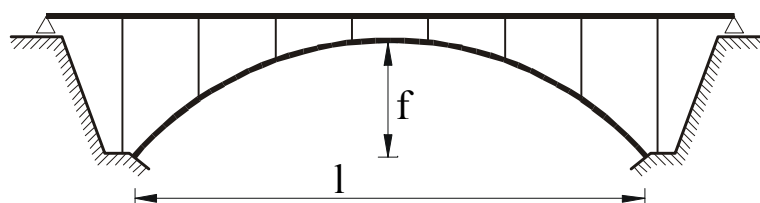
Kod mostova prijenos sila na luk vrši se preko kolovozne konstrukcije. Prijenos sila vrši se preko zglobno ili kruto vezanih štapova ili preko vješaljki. S obzirom na odnos krutosti kolovozne grede i luka mogu nastati različiti slučajevi prikazani na crtežu 4.13. Crteži a i b prikazuju spregu krutog luka i mekanog kolovoznog pojasa, c i d mekanog (štapnog) luka i krute kolovozne konstrukcije, e i f krutog luka i krute kolovozne konstrukcije, te g i h spregu krutog luka i krute kolovozne konstrukcije s krutom vezom stupova/vješaljki.



Crtež 4.15: Sprega luka i kolovozne konstrukcije

Kolnik može biti iznad luka, upušten ili ispod luka. Kada je kolnik iznad luka kolovozna konstrukcija se oslanja na stupove, kad je kolnik upušten, kolovozna konstrukcija je dijelom na stupovima, a dijelom je obješena o vješaljke, a kad je kolnik ispod luka cijela konstrukcija počiva na vješaljka. Stupovi i vješaljke obično su vertikalni, ali mogu biti i kosi.

Odnos strelice i raspona luka (f/l) naziva se stanjenost ili spljoštenost, a odnos strelice i kvadrata raspona luka (f/l^2) naziva se smjelost luka (crtež 4.14).



Crtež 4.16: Raspon i strelica luka

Lučne konstrukcije na osloncima, osim velikih vertikalnih prenose i velike horizontalne sile, koje se predaju direktno na tlo preko peta luka. U nekim lučnim sustavima horizontalne sile se preuzimaju pomoću posebnih zatega. Karakteristika lučnih mostova je da su posebno osjetljivi na pomake i zakretanje oslonaca tim više što su im rasponi veći, a strelica manja.

Betonski lukovi su racionalna i uspješna rješenja do raspona od oko 350 m, dok čelični lukovi mogu predstavljati uspješna rješenja i preko 450 m. Najveći raspon betonskog luka postignut je u Kini, most Wanxian, 420 m, dok je na drugom mjestu veliki otvor Krčkog mosta s 390 m. Najveći raspon čelične lučne konstrukcije postignut je na mostu New River Gorge u SAD, 518 m.

4.3.1 Upeti lukovi

Upeti lukovi (vidi crtež 4.15) su najjednostavniji i najjeftiniji i posebno pogodni za izvedbu od armiranog betona, jer nema skupih zglobova i peta luka može doći i pod vodu. Najčešća izvedba je kruti luk i mekana kolovozna konstrukcija, pri čemu luk preuzima i uzdužne sile i momente. Ako su i luk i kolovozna konstrukcija kruti, tada momente preuzimaju obje konstrukcije u odnosu njihovih krutosti.

Nedostaci upetih lukova su velika osjetljivost na popuštanje ili zakretanje oslonaca i osjetljivost na temperaturne promjene.

Starije izvedbe lučnih mostova pratile su liniju momenata, pa su česte izvedbe srpastih lukova (R. Vallete i R. Maillart). Današnji lukovi su najčešće konstantnog vanjskog presjeka, dok se debljina stijenki mijenja prema promjeni momenta (pri petama deblje, a pri tjemenu tanje).

Ovakve lučne konstrukcije na temelje prenose i momente savijanja.



Crtež 4.17: Upeti lukovi

4.3.2 Dvozglobni lukovi

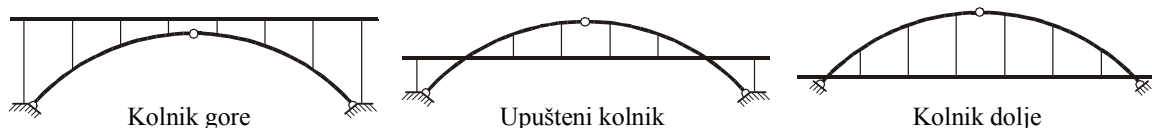
Primjenjuju se za mostove s velikom stanjenosti. Dodatni momenti zbog skupljanja i puzanja tada su najmanji. Zglobovi su smješteni u petama luka. Debljina luka je konstantna ili se povećava prema tjemenu, analogno anvelopi maksimalnih momenata.



Crtež 4.18: Dvozglobni lukovi

4.3.3 Trozglobni lukovi

Pogodni su za male građevne visine, te kad postoji opasnost od slijeganja upornjaka i stupova. Zglobovi su smješteni u obje pete i u tjemenu luka. Budući da je sustav statički određen znatno su smanjeni dodatni utjecaji zbog skupljanja betona, promjene temperature i razmicanja peta luka. Visina luka može biti konstantna ili promjenjiva, kao npr. u Maillartovim lukovima gdje je najveća visina u četvrtinama luka.



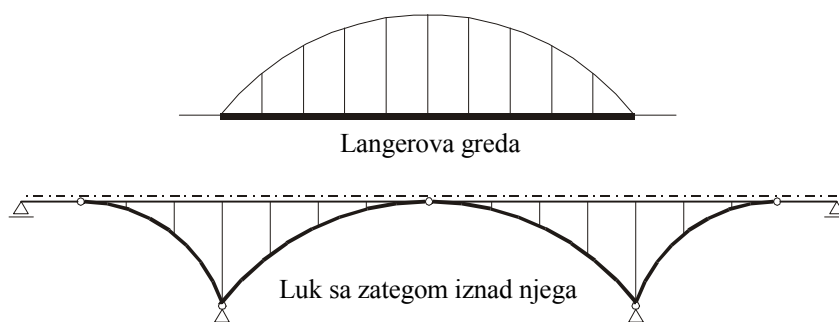
Crtež 4.19: Trozglobni lukovi

4.3.4 Elastično upeti lukovi

Smanjenjem momenta inercije na nekom mjestu lučnog nosača smanjuju se i momenti savijanja na tom mjestu. Ovi lukovi mogu biti ekonomični i na velikim rasponima, a znatno se smanjuju utjecaji od temperature, puzanja i skupljanja betona, kao i od popuštanja oslonaca u odnosu na upete lukove.

4.3.5 Lukovi sa zategom

Grade se sa sva tri položaja kolnika. Bit ovog sustava je da horizontalnu silu preuzima zatega, koja je obično smještena unutar kolovoznih nosača. Zbog toga na ležajevima se pojavljuju samo vertikalne sile, pa je luk sa zategom pogodan kad su stupovi visoki ili kad je tlo slabo. Mogu se graditi kao upeti, sa dva ili tri zgloba. Prema potrebi, gradi se kruti luk i mekana kolovozna konstrukcija, mekani luk i kruta kolovozna konstrukcija ("Langerova greda"), te te kruti luk i kruta kolovozna konstrukcija.

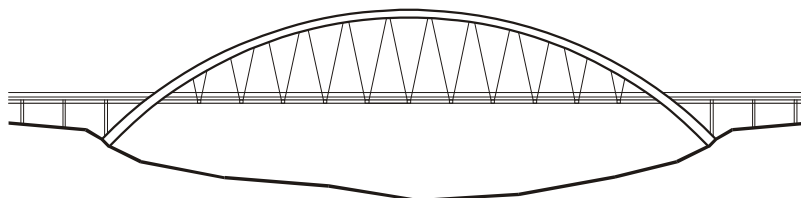


Crtež 4.20: Lukovi sa zategom

Kad je kolnik upušten ili kad se nalazi ispod luka, armatura zatege je smještena u rubne nosače (betonski mostovi) ili rubni nosači sami predstavljaju zatege (čelični mostovi). Vješaljke mogu biti od armiranog ili prednapregnutog betona ili od čelika. Ako su od armiranog betona betoniraju se naknadno, nakon otpuštanja skele, da beton ne bi popucao zbog vlačnih naprezanja.

4.3.6 Nielsenov luk

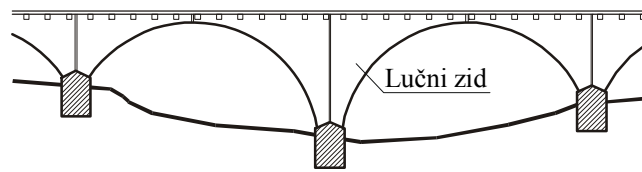
Nielsenov luk je sustav s kosim vješaljka nazvan po pronalazaču Nielsenu. U takvoj konstrukciji, zbog utjecaja uzdužne sile, momenti su znatno manji nego kod konstrukcije s vertikalnim vješaljka i ušteda betona kod ab mostova je oko 15%. Varijantno rješenje je postava zgloba u kolniku na sredini raspona pri čemu se uzdužna sila tada prenosi na upornjake.



Crtež 4.21: Nielsenov luk

4.3.7 Mostovi s lučnim zidovima

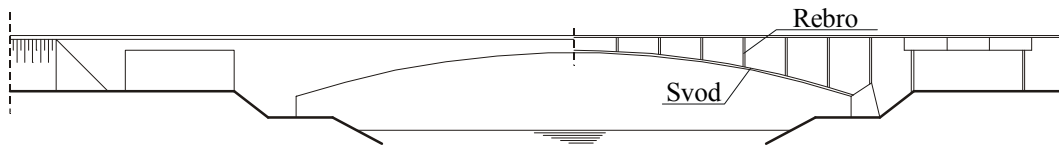
U statičkom pogledu predstavljaju kombinaciju luka i zida. Sastoje se od dva ili više vertikalnih lučnih zidova povezanih pločom s gornje strane, koja osigurava stabilnost lukova. Prema statičkom sustavu lukovi su dvozglojni ili trozglojni, a mogu imati i prepust koji omogućava vezu s prilaznim nasipom.



Crtež 4.22: Most s lučnim zidovima

4.3.8 Hennebiqueovi lukovi

Hennebiqueovi (Enebikovi) lukovi su posebne lučne konstrukcije koje se sastoje od tankog svoda iznad kojeg se nalaze vertikalni zidovi kao lukovi rebra, te kolovozna ploča. U prijenosu opterećenja na glavnom rasponu aktivira se cijeli poprečni presjek konstrukcije.

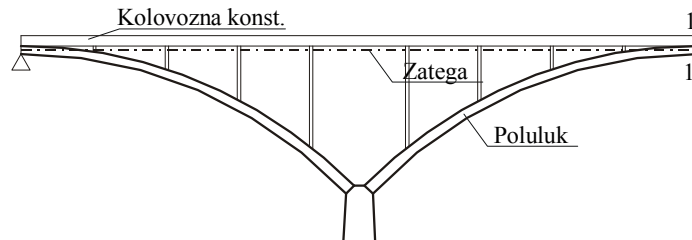


Crtež 4.23: Hennebiqueov luk

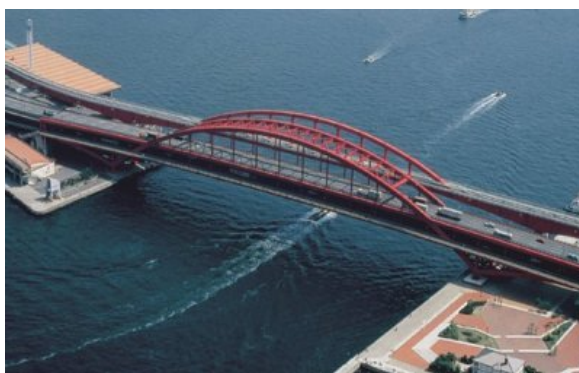
4.3.9 Lukovi s preuzetim potiskom

Osnovna odlika ovakvog sustava je jedan ili više stupova i polulukovi koji su u nivou tjemena spojeni zategom. Dva susjedna polulukova su u ravnoteži za opterećenje vlastitom težinom, što znatno smanjuje horizontalne sile koje se prenose na stupove. Oslanjanje polulukova na stup može biti upeto ili zgلوبno, a veza pojedinih dijelova sustava (presjek 1-1 na crtežu 4.22) također može biti upeta ili zgلوبna.

Na sličnom principu danas se grade veliki mostovi po konzolnom postupku. Ovakvi sustavi su posebno pogodni za visoke stupove i slabije temeljno tlo.



Crtež 4.24: Lukovi s preuzetim potiskom



Most Kobe, Japan



Most Maslenica, Hrvatska

Crtež 4.25: Neki primjeri lučnih mostova

4.4 VISEĆI I OVJEŠENI (ZAUZDANI) MOSTOVI

Viseći i ovješeni mostovi su nosivi sklopovi s kojima prevladavamo najveće raspone. Ovješeni (zauzdani) mostovi grade se od raspona koji su granični za ravne gredne rasponske konstrukcije (150 – 200 m) i racionalna su i uspješna rješenja do cca 700 m. Ovješeni most s najvećim rasponom je Tatara u Japanu, 890 m, a odmah za njim je Ponte de Normandie u Francuskoj, 856 m. Razvoj ovješениh mostova je još u toku, pa se mogu očekivati i veći rasponi i smjelija rješenja.

Ekonomičnost primjene visećih mostova počima s oko 300 m, a do sada je postignut najveći raspon 1990 m u Japanu, most Akashi-Kaikyo. Sljedeći je Izmit Bay u Turskoj sa 1668 m.

Sustavi visećeg i ovješеноg mosta se jednako uspješno može primijeniti i za manje raspone (50-200 m), posebice za pješačke mostove (primjer: pješački most u Trilju preko Cetine).

Međusobna sličnost ova dva sustava često dovodi laike u zabunu, pa se i ovješeni i viseći mostovi trpaju pod zajedničko ime visećih mostova. Razlike ova dva sklopa su i u konstruktivnom i u statičkom pogledu. Kod ovješениh mostova osnovni elementi sustava su grede za ukrućenje, piloni i vješaljke. U visećih sustava su grede za ukrućenje, piloni i kabel kao primarni element te vješaljke kao sekundarni elementi.

Razlika je i u aerodinamičnim svojstvima. Viseći mostovi su mekši i imaju slabiji sustav prigušenja, stoga moraju imati aerodinamični poprečni presjek. Ovješeni mostovi su znatno krući, s dobrim sustavom prigušenja (posebno moderni mostovi), pa im aerodinamični presjek uglavnom nije potreban.

4.4.1 Ovješeni mostovi

Uzdužna dispozicija ovješениh mostova ovisi o vrsti i obliku prepreke, dopuštenim gabaritima i sl. Razlikuju se četiri osnovna sustava:

- simetričan most s dva raspona,
- nesimetričan most s dva raspona,
- simetričan most s tri raspona,
- nesimetričan most s tri raspona.

Dispozicije s više od tri raspona se vrlo rijetko izvode.

Optimalni odnos između veličina krajnjih i srednjeg polja kod simetričnog mosta s tri polja je $2/5-1/2$. Kad je taj odnos manji, podižu se krajnji ležajevi, a ako je veća, onda se od pokretnog opterećenja uvećavaju momenti savijanja greda i naprezanja u vješaljka u krajnjim poljima.

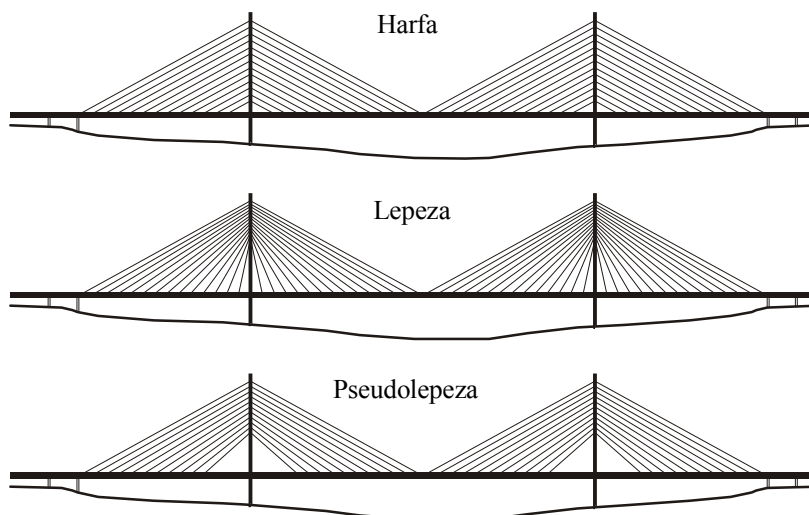
Visina pilona obično se kreće od $2/5$ do $1/2$ dužine većeg raspona. Viši piloni znatno povećavaju troškove svoje izgradnje, ali zato smanjuju potrebnu površinu vješaljki. Niži piloni, naprotiv, smanjuju trošak svoje izgradnje ali znatno povećavaju potrebnu površinu vješaljki.

Vješaljke se mogu rasporediti na tri načina i to u obliku harfe, lepeze ili pseudolepeze (crtež 4.23).

Raspored vješaljki u obliku harfe se rjeđe primjenjuje zbog veće težine vješaljki i relativno većih momenata savijanja u pilonu, iako je sa stanovišta vješaljki povoljan, jer sve vješaljke primaju istu silu, pa mogu biti istog poprečnog presjeka. Raspored u obliku čiste lepeze, gdje se sve vješaljke sijeku u jednoj točki na pilonu, tehnički je teško izvediv, pri čemu je i pilon

nepovoljno opterećen. Najčešće se izvodi pseudolepezasti raspored vješaljki, gdje su vješaljke raspoređene na izvjesnoj visini gornjeg dijela pilona.

Prvi ovješeni mostovi projektirani su s malim brojem vješaljki na većem međusobnom razmaku. Moderne tendencije kreću k smanjivanju razmaka vješaljki. Prednost gušćih vješaljki je u znatnom smanjenju dimenzija grede, što vodi smanjenju vlastite težine, manjim vješaljka, jednostavnijem njihovom usidrenju te znatno jednostavnijoj zamjeni vješaljki.



Crtež 4.26: Tipovi ovješениh mostova



Most Shin Dong, ??? - pseudolepeza



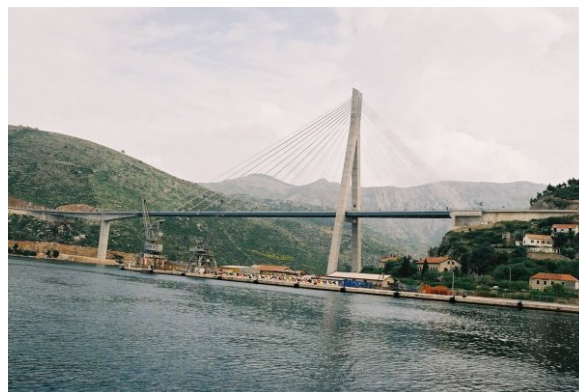
Most Beeckerwerther Njemačka - harfa

Crtež 4.27: Neki primjeri ovješениh mostova

Ponekad se izvode simetrični ili asimetrični ovješeni most s dva raspona. Pri tome je obično glavni krak iznad matice rijeke. Na sporednom kraku vješaljke se mogu rasporediti i na više otvora.



Most Tatara, Japan – simetrični most



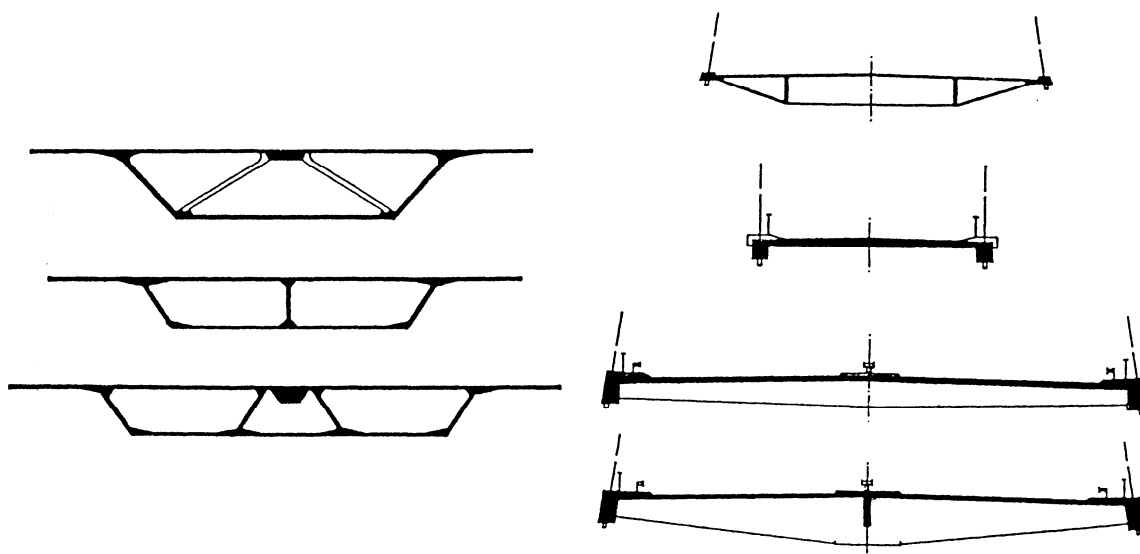
Most Dubrovnik, Hrvatska, - nesimetrični most

Crtež 4.28: Neki primjeri ovješениh mostova

Ovješeni mostovi se mogu raditi u raznim kombinacijama materijala: čelik-čelik, čelik-beton (obično prednapregnuti) i beton-beton. Do raspona od oko 450.0 m betonska greda konkurrira čeličnoj konstrukciji jer je djelovanje tlačnih sila povoljno za beton.

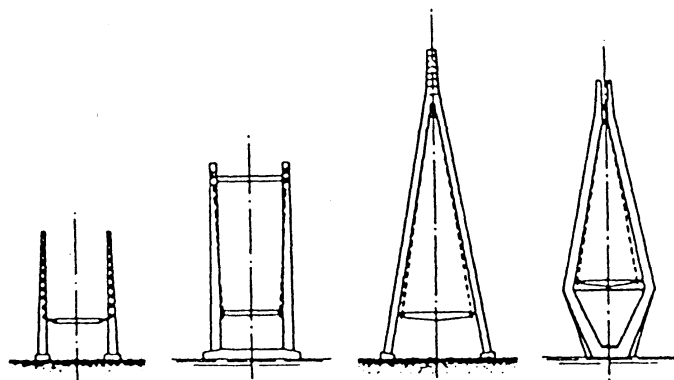
Vješaljke se, u poprečnoj dispoziciji, mogu postaviti u dvije ravnine (lateralno) usidrene na rubovima nosača, ili u jednoj ravnini (aksijalno) usidrene u sredini mosta. Prvo rješenje je jednostavnije i povoljnije. Budući da vješaljke pružaju čvrstu potporu gredi za ukrućenje njezine su deformacije male, a i sa gledišta aerodinamične stabilnosti nije potrebna torzijski kruta greda, pa njen presjek može biti jednostavan.

U slučaju aksijalnog vješanja, zbog nesimetričnog opterećenja nastaju znatni torzijski momenti. Poprečni presjek stoga mora imati odgovarajuću torzijsku krutost, što za sobom povlači složeniji presjek. Neki primjeri lateralnog i aksijalnog vješanja prikazani su na crtežu 4.24. Korisno je napomenuti da su prikazani poprečni presjeci izvedenih mostova.

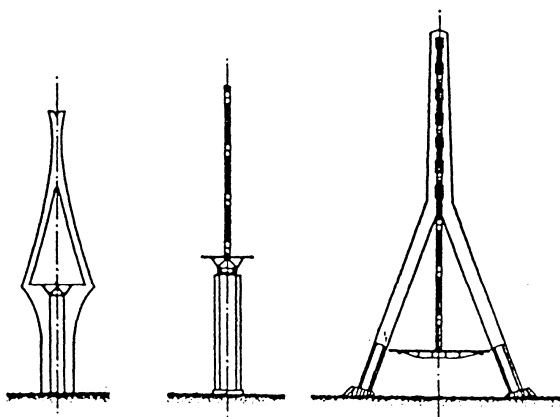


Crtež 4.29: Poprečni presjeci ovješanih mostova

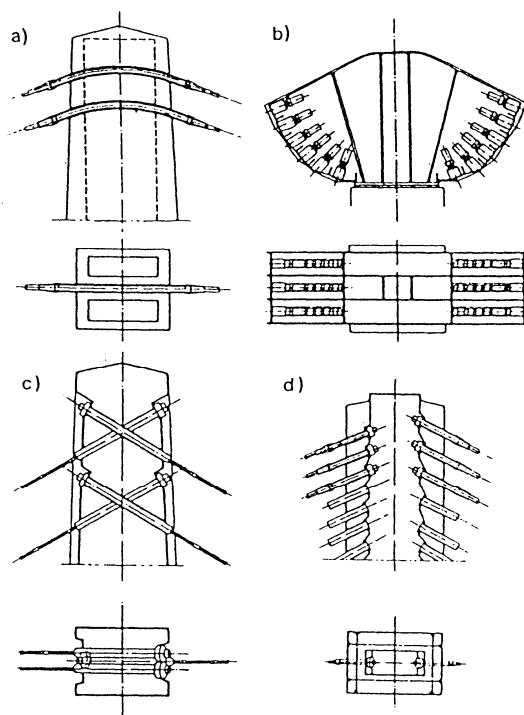
Oblik pilona ovješanih mostova može biti raznolik. Na crtežima 4.25 i 4.26 prikazani su neki oblici pilona, s obzirom na način vješanja glavne rasponske konstrukcije. Na crtežu 4.27 prikazani su neki načini sidrenja zatega na pilon .



Crtež 4.30: Neki oblici pilona ovješanih mostova kod lateralnog vješanja



Crtež 4.31: Neki oblici pilona ovješanih mostova kod aksijalnog vješanja



Crtež 4.32: Neki načini sidrenja zatega na pilon



Most Milwaukee – aksijalno vješanje



Most Replot Broen, - lateralno vješanje



Detalj vješaljke – Dubrovački most

Crtež 4.33: Neki načini vješanja ovješanih mostova

Greda s kosim zategama, ovješena o pilon je višestruko neodređeni statički sustav. Osnovna pretpostavka proračuna je da svaka zatega ima dovoljnu rezervu vlačne sile od stalnog opterećenja i da će ova sila uvijek biti veća od tlačne sile koja se u zatezi može pojaviti od ostalih utjecaja (prometno opterećenje i sl.).

Horizontalne sile od zatega izazivaju u gredi znatne, ali korisne tlačne sile. Kako se danas sve više grade betonske grede od prefabriciranih segmenata, tlačne sile u spojevima izazivaju korisna tlačna naprezanja.

4.4.2 Viseći mostovi

Značajna karakteristika visećih mostova su velike deformacije pod pokretnim opterećenjem i pod utjecajem vjetra, što izaziva vibracije. Stoga se ovi sustavi koriste isključivo za cestovni i pješački promet, a ne i za željeznički.

Sustavi visećih (kao i sustavi ovješanih mostova) razvili su se iz sustava lančanih mostova, gdje su glavni nosivi sustav predstavljali metalni lanci. Razvojem tehnologije proizvodnje čelika, metalne lance su zamijenila čelična užad.

U zavisnosti o načinu sidrenja krajeva nosivog kabela razlikujemo (crtež 4.28):

- Pravi viseći mostovi kod kojih je kabel sidren u tlo,
- Viseći mostovi sidreni u gredi za ukrućenje (prividni viseći mostovi).

Ako su uvjeti za sidrenje dobri (kvalitetno tlo) tada uvijek treba težiti rješenju s pravim visećim mostom.

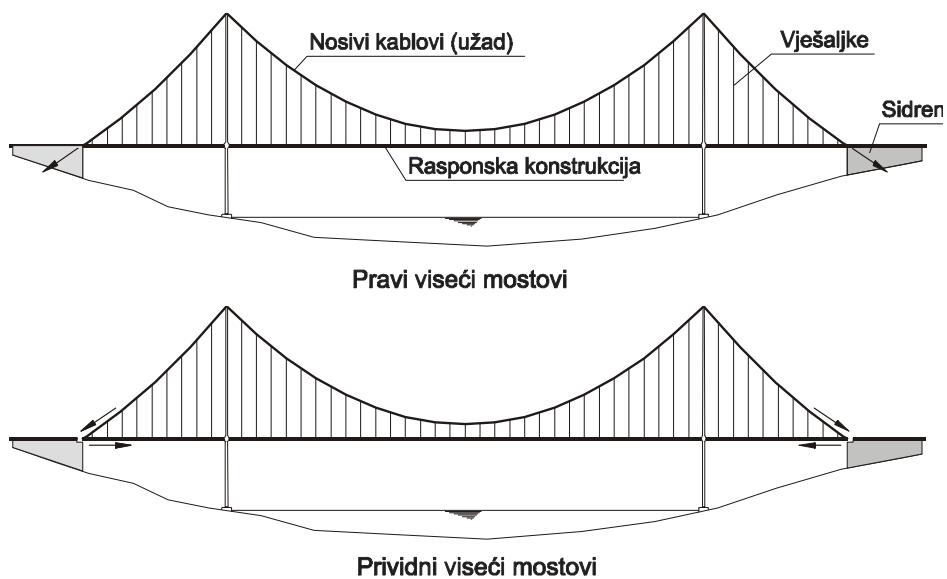
Oblik pilona visećih (i ovješanih) mostova može biti raznolik. Međutim, za razliku od ovješanih mostova, viseći mostovi se uvijek obostrano vješaju zbog svoje velike deformabilnosti.

Kod visećih mostova kabel preuzima ukupnu težinu mosta, a rasponska konstrukcija je obješena o njega preko vješaljki (što je bitna konstruktivna razlika u odnosu na ovješene mostove). Oblik presjeka kolovozne konstrukcije bitno ovisi o rasponima, a najčešće je punostjeni ili rešetkasti čelični nosač ukrućen ortotropnom pločom. Kod manjih raspona presjek može biti i spregnuti u kombinaciji čelik-beton. U novije vrijeme posebna pažnja se posvećuje aerodinamičnom oblikovanju poprečnog presjeka, tako da on bude što manje osjetljiv na djelovanje vjetra.

Piloni visećih mostova su najčešće portali sa prečkama po visini i na mjestu oslanjanja kolovozne konstrukcije.

Vješaljke su elementi koji sile s kolovozne konstrukcije prenose na glavni nosivi sustav – uža. Posebno složen konstruktivni detalj je spoj vješaljke u glavnog užeta.

Pri proračunu visećih mostova, upravo zbog njihove male krutosti, tj. velike deformabilnosti, neophodno je sustav promatrati po teoriji II reda. Naime, kod ovakvih sustava geometrijska nelinearnost naročito dolazi do izražaja.



Crtež 4.34: Sustavi visećih mostova



Most Golden Gate, SAD



Most Tsing Ma, - Hong Kong

Crtež 4.35: Neki primjeri visećih mostova



Crtež 4.36: Sidreni blok Mosta Verazzano narrows, SAD

5. Konstruktivni dijelovi mostova i njihov proračun

5.1 UVOD

U prethodnom poglavlju nabrojane su karakteristike nosivih konstrukcija mostova. Iz izlaganja je vidljivo da svaki konstruktivni sustav nema sve nabrojane dijelove, a isto tako da neki konstruktivni dijelovi mostova se javljaju u različitim konstruktivnim sustavima. U ovom poglavlju pokušat ćemo malo približiti različita rješenja konstruktivnih dijelova mostova s aspektima njihove pojave u raznim konstruktivnim sustavima, te ukratko opisati osnove njihovog proračuna.

5.2 OPĆENITO O PRORAČUNU MOSTOVA

Proračun mostova, kao i drugih inženjerskih konstrukcija, predstavlja znanstveni postupak zasnovan na postavkama otpornosti materijala, građevne mehanike i statike. Njegov cilj je dokazivanje dostatne otpornosti i stabilnosti građevine na očekivana djelovanja (vanjska opterećenja i djelovanja). Kako je prikazano u Poglavlju 4, različite nosive konstrukcije mostova različito se ponašaju za pojedina opterećenja, pa stoga proračun mostova nije unificirani postupak za sve vrste mostova već ovisi o nizu čimbenika.

Klasični način proračuna mostova je njegova raščlamba na osnovne konstruktivne dijelove, koji u konstruktivnom pogledu predstavljaju jednostavne (lako izračunjive) sustave. Na primjer: prostu gredu, konzolu, kontinuirani nosač, itd. Ovakav pristup je u velikoj mjeri zadržan i danas, iako je modernim software-om moguća analiza mosta kao cjeline. Prednosti klasičnog načina su:

- čisti konstruktivni sustav – što pridonosi jednostavnosti proračuna,
- dodatna sigurnost konstrukcije, što je posljedica pojednostavljenja koja se uvijek vrše na strani veće sigurnosti, te
- jednostavna kontrola dobivenih rezultata.

Valja napomenuti da klasični način proračuna ne isključuje računalne proračune, već samo se ovdje konstrukcija ne promatra cjelovito, već raščlanjena na svoje sastavne dijelove uključujući dakako njihove međuveze.

Cjelovit način pristupa proračunu mostova neodvojivo je vezan uz moderni software i MKE ili neki drugi numerički pristup proračunu. Mostu se tu pristupa kao cjelini, svi njegovi dijelovi su u međuvezi, i analiza daje znatno realističniju sliku ponašanja cjelovite konstrukcije. To dakako vodi ekonomičnijoj konstrukciji. Kod ovakvog pristupa mogu se izvesti i proračuni koji kod strogog klasičnog nisu mogući, kao npr. prava dinamička analiza sustava. No nedostaci cjelovitog pristupa su upravo prednosti klasičnog. Potpuni model mosta je jedan vrlo složeni statički sustav, čiji je upis u računalo i kontrola unesenih podataka također složen. Pregled dobivenih rezultata te ocjena njihove valjanosti ponekad kod takvih sustava može predstavljati pravu mору. Stoga, korištenje složenih programskih paketa se svakako ne preporuča početniku. I iskusniji korisnici, bez obzira koliko dobro poznavali proračunski paket koji koriste, uvijek moraju poznavati nivo očekivanog rezultata (očekivane granice).

Kao i ostale građevine, ni most ne nastaje odjednom, već tokom svoje gradnje prolazi kroz niz faza. Pa, dok smo kod zgrada to često spremni zaboraviti i zgradu proračunavamo u

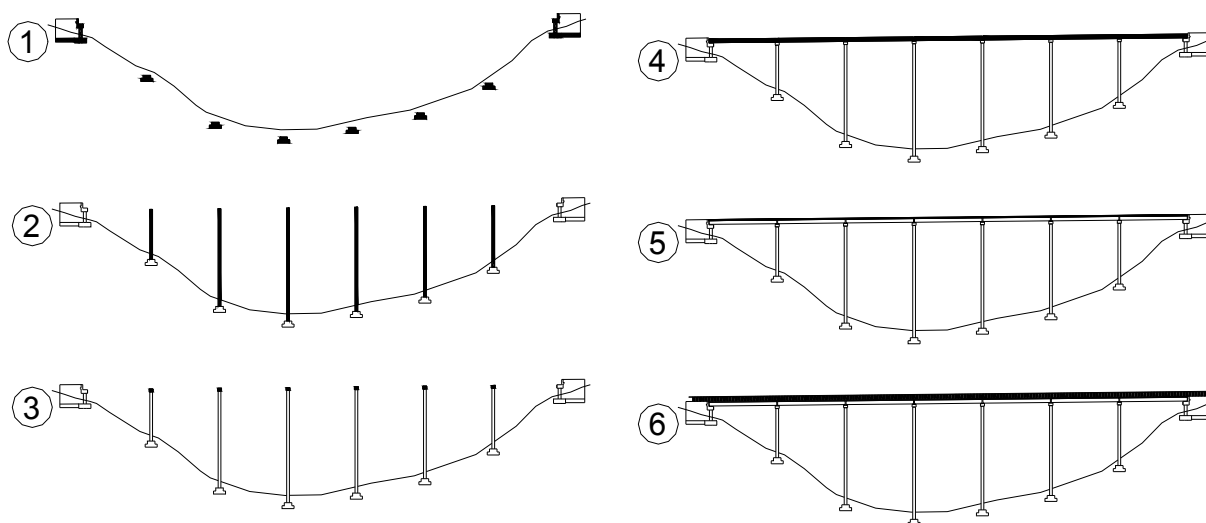
njenom završnom stanju, kod mostova to nije slučaj. Mostovi se moraju proračunavati s obzirom na faze izvedbe, tj. proračun mora pratiti način izvedbe. Stoga je logično da projektant mosta mora dobro poznavati uobičajene i specijalne načine gradnje mostova, te u svakom pojedinačnom slučaju propisati način gradnje kako bi se ostvarile sve pretpostavke proračuna. Pojedini mostovi imaju najkritičniju fazu baš tijekom gradnje, tj. tijekom gradnje djeluju najveće sile te se ostvaruju najveća naprezanja i deformacije.

Valja uvijek imati na umu da proračun mosta nije sam sebi svrha. Prvi korak pri projektiranju mosta je idejno rješenje, gdje se za isti prijelaz definira nekoliko različitih rješenja mostova, istog ili različitog nosivog sustava. Projektant već u ovoj fazi mora odrediti približne dimenzije svih nosivih elemenata. Kasniji detaljni proračun (u fazi glavnog projekta) mora potvrditi odabrane dimenzije ili ih tek neznatno korigirati, što ne smije utjecati na konceptualno rješenje.

Početno dimenzioniranje se može napraviti na osnovu iskustva i preporuka iz raznih knjiga, ili na osnovu preliminarnog proračuna. U svakom slučaju početno određivanje dimenzija je vrlo bitno i potrebno mu je posvetiti posebnu pažnju. U novije vrijeme u snažnom razvoju su i tzv. ekspertni sustavi, računalni programi koji pružaju podršku odlučivanju i projektiranju.

5.3 OSVRT NA FAZE GRADNJE

Kao što je već rečeno, faze gradnje predstavljaju bitan faktor pri proračunu mosta. Na crtežu 5.1 prikazan je tipičan viadukt koji se gradi polumontažno – lansirnim prenosilom. Naime, na prethodno izrađene stupove montira se lansirna rešetka (prenoslilo). Dijelovi rasponske konstrukcije (glavni nosači) se izvode sa strane, dovode na most, te pomoću lansirnog prenosila montiraju u svoj konačni položaj. Nakon postavljanja svih glavnih nosača, vrši se izvedba betonske ploče i poprečnih nosača, koji služe za monolitizaciju, tj. povezivanje nosača u jednu cjelinu. Ako promotrimo nosivi sustav mosta u trenutku neposredno nakon što smo izveli ploču i poprečni nosač, možemo zaključiti da je tip prenosa opterećenja i dalje prosta greda. Naime, cjelokupno opterećenje i dalje prenose samo glavni montažni nosači jer je beton ploče još mekan i predstavlja samo opterećenje. Ovo nam predstavlja I fazu proračuna za rasponsku konstrukciju. U ovoj fazi montažne nosače moramo tako proračunati da budu sposobni prenijeti svoju vlastitu težinu te težinu betonske ploče.



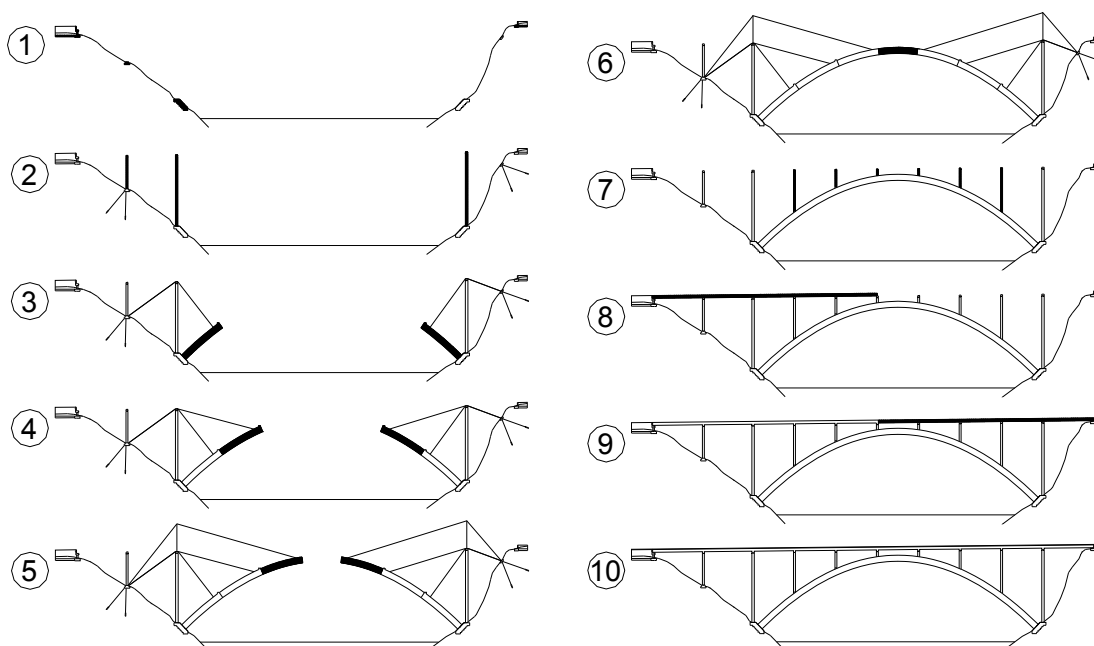
Crtež 5.1: Faze izvedbe grednog mosta

Na izvedenu betonsku ploču postavlja se hidroizolacija, asfaltni zastor, pješački hodnici, odbojnici, ograda i sl., što predstavlja dodatno stalno opterećenje mosta. Konačno, na potpuno završeni most se pušta promet. Dodatno stalno i prometno opterećenje djeluju na statičkom sustavu koji nije više prosta greda već kontinuirani nosač, jer se beton betonske ploče i poprečnog nosača stvrdnuo i preuzeo dio nosive funkcije. Ovo predstavlja II fazu proračuna. Dakle, u II fazi montažni nosač, ali sada potpomognut i betonskom pločom koja je s njim spregnuta mora izdržati ukupno opterećenje – vlastitu težinu nosača i ploče (iz I faze), te dodatno stalno i prometno opterećenje.

Ukupna gradnja je podijeljena u 6 osnovnih faza:

- 1. faza – izgradnja upornjaka i temelja stupova;
- 2. faza – izgradnja stupova;
- 3. faza – izgradnja naglavnica na stupovima;
- 4. faza – montiranje rasponskih nosača;
- 5. faza – monolitizacija rasponskih nosača – betoniranje kolovozne ploče;
- 6. faza – asfaltiranje kolničkog zastora; ugradnja ograda, odbojnika i ostale opreme.

Kod prethodnog primjera moglo bi se čak reći da je situacija jednostavna, jer se cijeli proračun rasponske konstrukcije može svesti na dvije faze. Na sljedećem primjeru lučnog mosta može se pokazati kako nekad proračun može imati prilično mnogo faza. Na crtežu 5.2 prikazane su faze izgradnje luka jednog lučnog mosta. Zbog jednostavnosti prikaza, izgradnja je ovdje podijeljena u ‘samo’ 10 faza.



Crtež 5.2: Faze izvedbe lučnog mosta

- 1. faza – izgradnja upornjaka, temelja stupova i temelja luka (pete luka);
- 2. faza – izgradnja stupova i priprema geotehničkih sidara za pridržanje zatega;
- 3. faza – izgradnja prvih segmenata luka s pridržavanjem zategama preko petnog stupa; zatege se sidre u stijenu preko geotehničkih sidara;
- 4. faza – izgradnja drugih segmenata luka s pridržavanjem zategama preko petnog stupa;

- 5. faza – izgradnja trećih segmenata luka. Njihovo pridržavanje izvodi se preko privremenog pilona koji se postavlja na petne stupove;
- 6. faza – konačno spajanje luka;
- 7. faza – otpuštanje zatega luka i izgradnja stupova na luku;
- 8. faza – nagurivanje kolničke konstrukcije s lijeve strane;
- 9. faza – nagurivanje kolničke konstrukcije s desne strane;
- 10. faza – spajanje kolničke konstrukcije i izvedba betonske ploče; asfaltiranje kolničkog zastora; ugradnja ograda, odbojnika i ostale opreme.

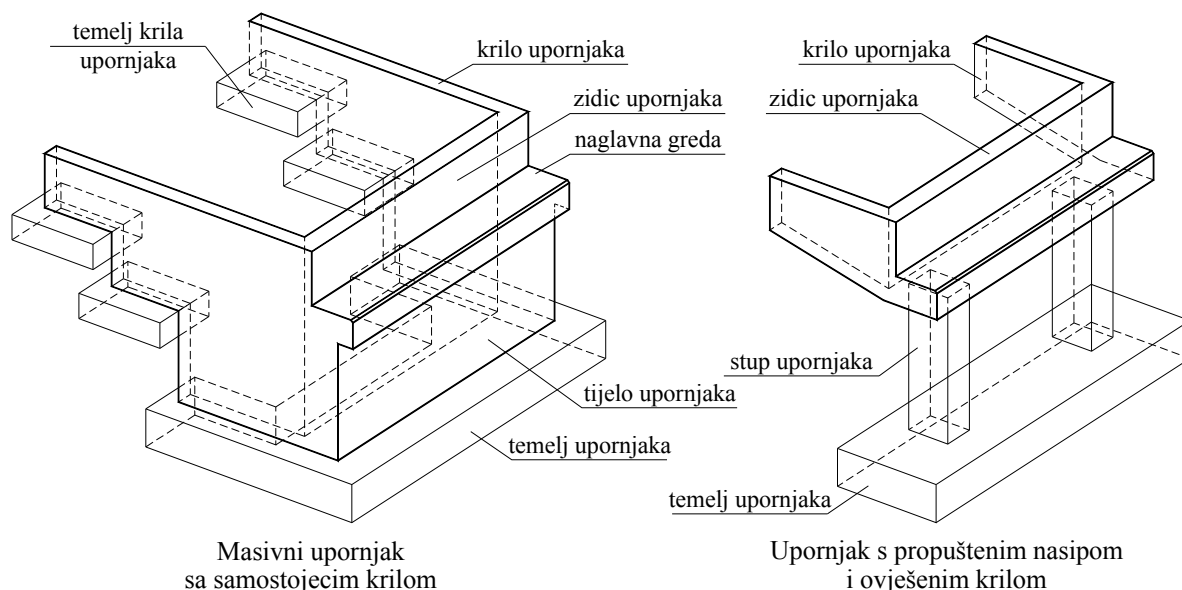
Proračun dakako mora pratiti svaku fazu izvedbe. Tako na primjer u svakoj fazi betoniranja segmenta luka potrebno je dimenzionirati segment, pratiti njegove progibe, te po potrebi zatezati zatege.

5.4 UPORNJACI

Upornjaci su krajnji stupovi mosta. Njihova konstruktivna rješenja bitno ovise o veličini mosta, smještaju mosta (grad ili otvorena prometnica), tipu mosta, pa čak i o vrsti prometa na mostu. Kod velikih mostova upornjaci sami za sebe predstavljaju impozantne i zahtjevne konstrukcije. Kod mostova u gradu upornjaci moraju zadovoljiti i estetskim zahtjevima, a često u njima mogu biti smješteni razni sadržaji.

Upornjaci grednih mostova preuzimaju i prenose na tlo vlastitu težinu, aktivni tlak tla, kao i vlastitu težinu konstrukcije i korisno opterećenje na mostu. Zavisno o konstruktivnog rješenja mosta mogu preuzimati i sile promjene temperature, sile kočenja, kao i utjecaje puzanja, skupljanja, popuštanja ležajeva i sl. Upornjaci lučnih mostova preuzimaju i velike horizontalne potiske.

Osnovni dijelovi upornjaka su: temelj, trup (koji može biti puni zid ili u vidu stupova s propuštenim nasipom), ležajne grede, ležajni kvaderi, parapetni zid (zidić) i krila upornjaka (crtež 5.3). Na upornjacima se još nalaze ležajevi i dilatacijske naprave.



Crtež 5.3: Aksonometrijski crtež upornjaka

U pogledu sa strane upornjak može biti tako oblikovan da se ležajevi vide ili da su skriveni (crtež 5.4).



Crtež 5.4: Vidljivi i skriveni ležajevi na upornjaku

5.4.1 Tipovi upornjaka

Upornjaci malih mostova su obično jednostavne izvedbe, a često su vezani s rasponskom konstrukcijom. Na crtežu 5.4 prikazana su neka rješenja upornjaka malih mostova.



slika Vladica

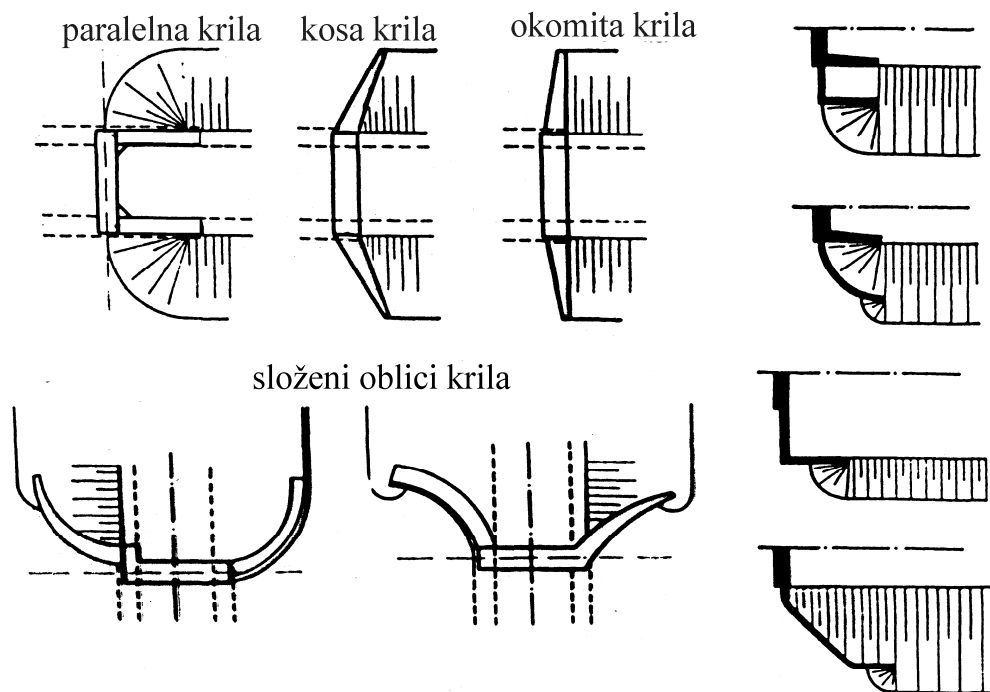
Crtež 5.5: Upornjaci malih mostova

Ovisno o izvedbi trupa upornjaka, upornjaci mogu biti masivni (puni, klasični), upornjaci s propuštenim nasipom (minimalni, utopljeni), laki upornjaci i upornjaci svodenih mostova. Kod velikih mostova upornjaci mogu biti specijalne građevine.

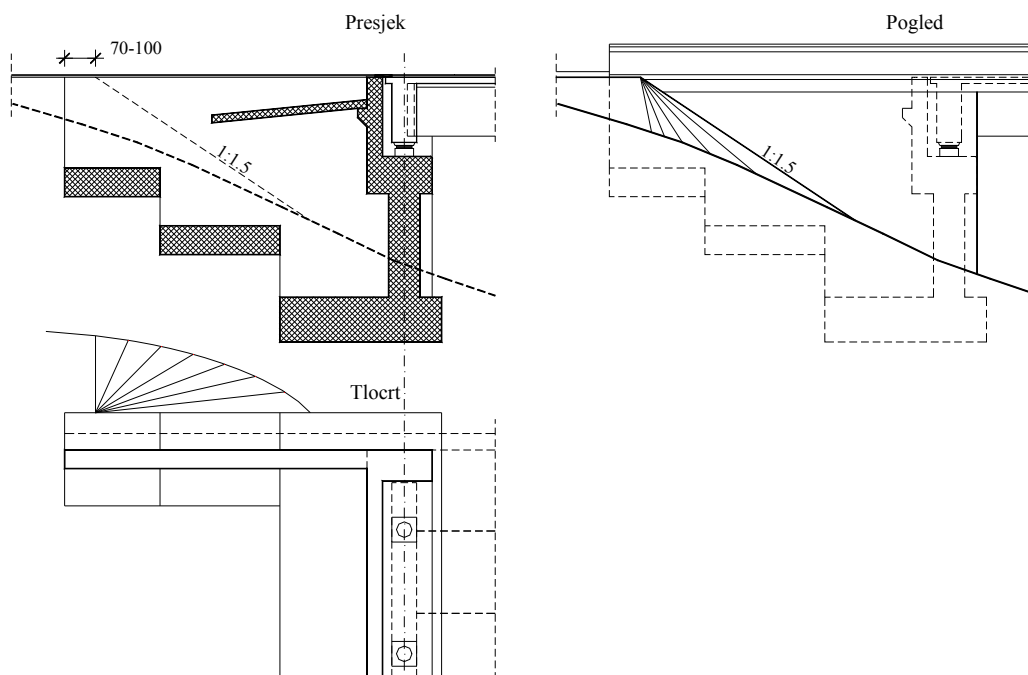
Aksonometrijski prikaz masivnih upornjaka i upornjaka s propuštenim nasipom prikazan je na crtežu 5.3.

Masivni ili klasični upornjaci su upornjaci koji se sastoje od masivnog tijela i krila, te zadržavaju nasip. Krila se najčešće rade paralelno, ali se za manje mostove, propuste ili u specijalnim okolnostima krila mogu postaviti koso ili okomito, a mogu biti i specijalnog oblika (crtež 5.5). Često se izrađuju i viseća krila koja su vrlo ekonomična zbog male potrebne količine materijala. Kad su paralelna krila dugačka, potrebno ih je dilatirati od trupa.

Jedan nacrt klasičnog upornjaka prikazan je na crtežu 5.5.

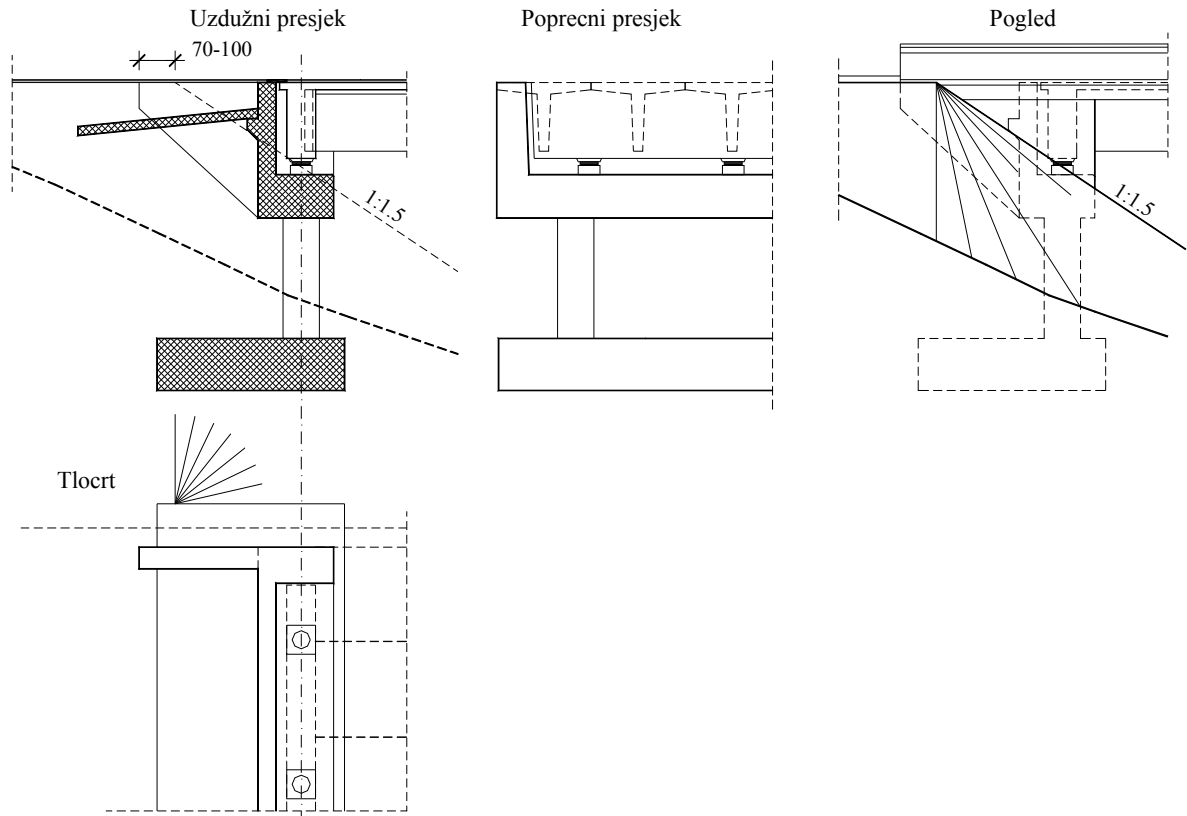


Crtež 5.6: Vrste krila

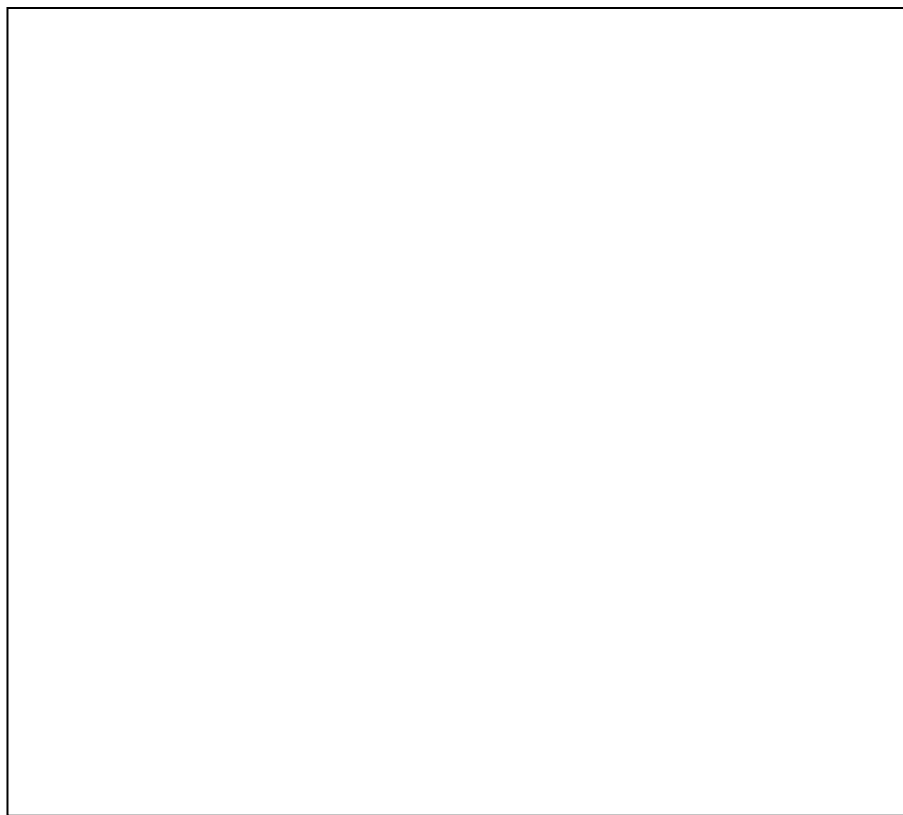


Crtež 5.7: Masivni upornjak

Upornjaci s propuštenim nasipom su znatno jednostavniji (i jeftiniji) za izvođenje od klasičnih upornjaka. Izvodimo ih u slučajevima kada nije potrebno zaustavljati nasip, tj. u slučajevima plitkih udolina, kao i u slučajevima kada je potrebno osigurati dobre prometne uvjete, kao npr. kod nadvožnjaka iznad auto-cesta (crtež 5.8). Mana im je da se rasponska konstrukcija toliko produljuje koliko je upornjak uvučen u nasip, što je zorno prikazano na crtežu 5.9.



Crtež 5.8: Upornjak s propuštenim nasipom



slike....

Crtež 5.9: Usporedba konstrukcije klasičnog i upornjaka s propuštenim nasipom

Za cestovne mostove mogu se u literaturi naći orijentacijske dimenzije upornjaka. Jedan takav primjer preuzet iz literature dan je na crtežu 5.9.



slika Koboević

Crtež 5.10: Orijentacijske dimenzije masivnog upornjaka

Na sljedećih nekoliko slika prikazani su različiti upornjaci.



Crtež 5.11: Masivni upornjak s paralelnim krilima

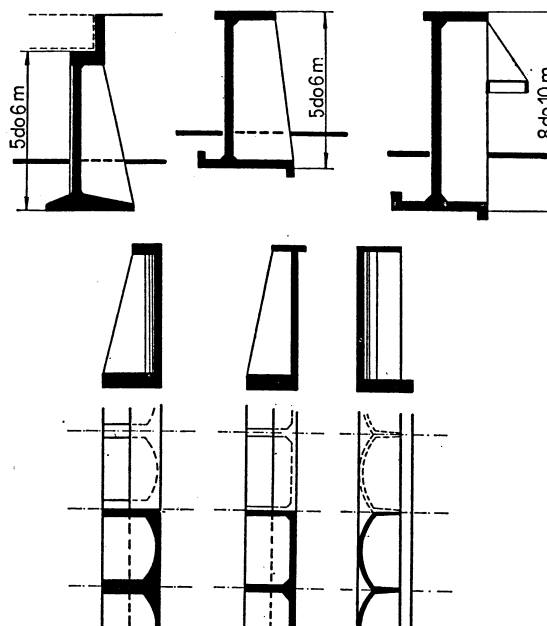


Crtež 5.12: Masivni upornjak s okomitim krilima (u gradnji)

5.4.2 Neki specijalni tipovi upornjaka

5.4.2.1 Laki upornjaci

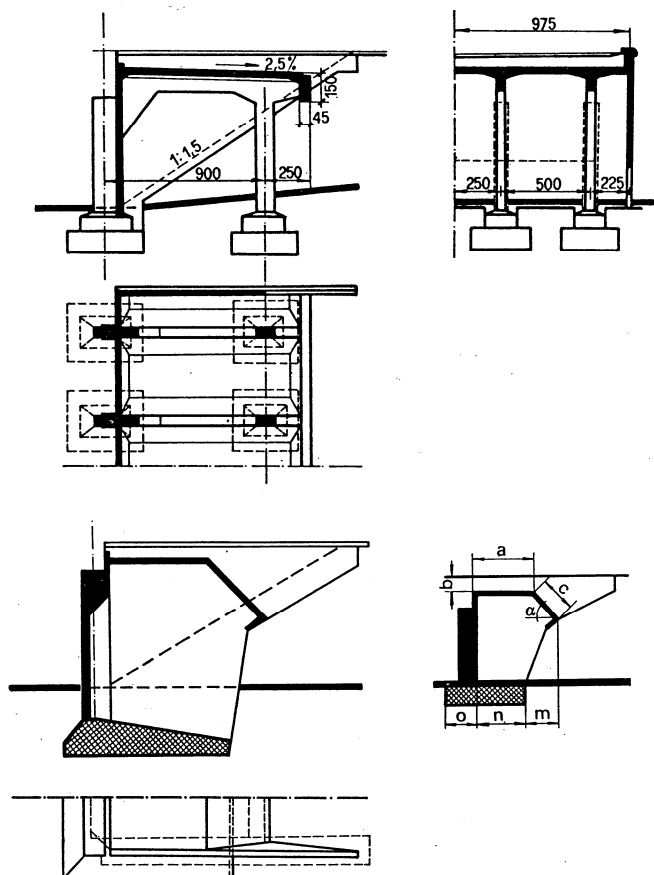
Kod pojedinih mostova, posebice velikih mostova zanimljivo je ponekad smanjiti težinu samih upornjaka da bi ukupno opterećenje na tlo bilo manje. To se može postići gradnjom upornjaka s propuštenim nasipom, što nije uvijek pogodno rješenje, ili olakšanjem zidova upornjaka, tako da u sklopu upornjaka ostavimo neke prazne prostore. S time se smanjuje i količina gradiva za izradu upornjaka, no to ćemo morati nadoknaditi povećanjem oplata, boljim gradivom i složenijim radovima na izvođenju. Neki primjeri prikazani su na crtežu 5.13.



Crtež 5.13: Neki primjeri lakih upornjaka

5.4.2.2 *Specijalni upornjaci*

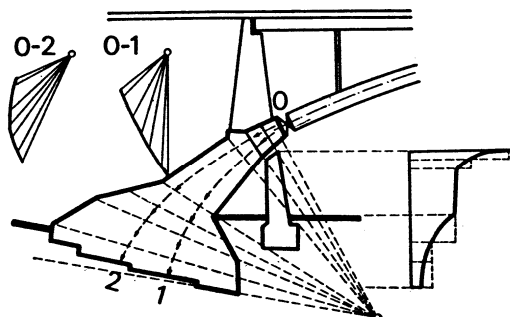
Kod velikih mostova upornjaci mogu biti specijalne konstrukcije u kojima se mogu nalaziti razni sadržaji. Neki primjeri prikazani su na crtežu 5.14.



Crtež 5.14: Neki specijalni upornjaci

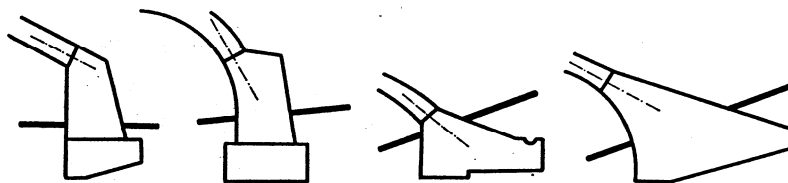
5.4.3 *Upornjaci svodenih mostova (pete luka/svoda)*

Kod lučnih i svodenih mostova upornjaci osim vertikalnih sila na tlo predaju i velike horizontalne potiske. U peti luka djeluje rezultantna sila koja je usmjerena koso. Stoga, petu luka modeliramo tako da slijedi tlačnu liniju (crtež 5.15). Osnovna ideja je dno temelja proširiti dovoljno da pritisak na tlo ostane u dozvoljenim granicama.



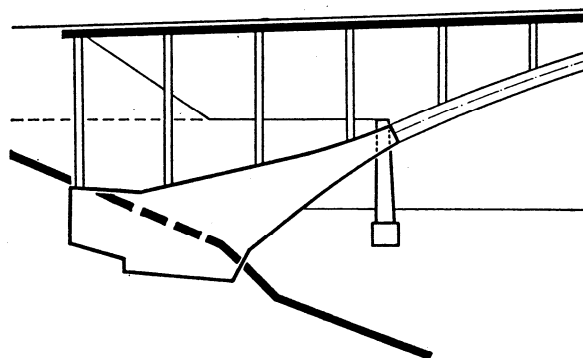
Crtež 5.15: Tokovi sila u peti luka

Na pogodan oblik pete luka (svoda) veliki utjecaj ima stinjenost luka. Neki primjeri odnosa luka i pete prikazani su na crtežu 5.16.



Crtež 5.16: Opći oblici peta lukova/svodova

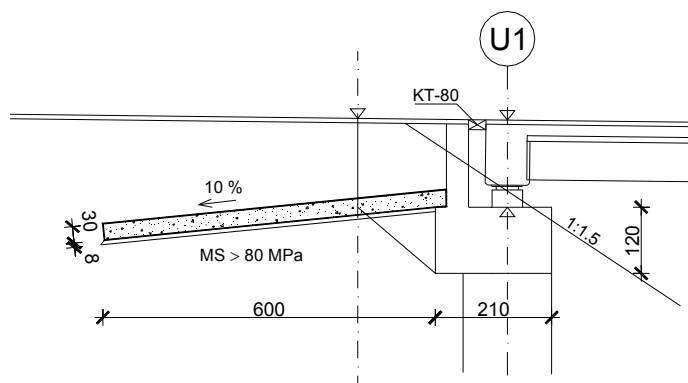
Još jedan primjer pete luka prikazan je na crtežu 5.17.



Crtež 5.17: Peta luka

5.4.4 Prijelazi na nasip

Da bi prijelaz s mosta (kruta konstrukcija) na nasip (fleksibilna konstrukcija) bio što neprimjetniji, potrebno je na nasipu iza upornjaka izraditi prijelazne ploče koje ujednačavaju slijeganje. Jedan primjer moderne prijelazne ploče prikazan je na crtežu 5.18.



Crtež 5.18: Prijelazna ploča

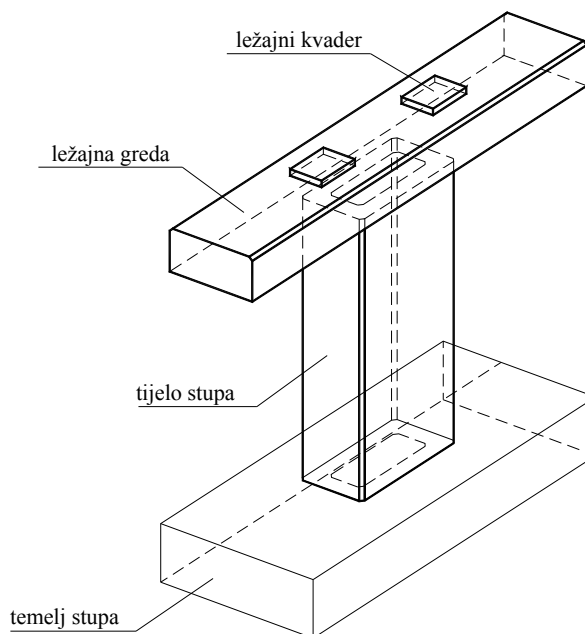
5.5 STUPOVI

Stupovi služe za prijenos vertikalnog i horizontalnog opterećenja s rasponske konstrukcije na tlo. Dijelovi stupova su: temelj, tijelo, ležišna greda i ležišni kvader (crtež 5.19). Oblik i dimenzije stupova ovise o nizu faktora, kao npr.: statičkom sustavu glavnih nosača, materijala od kojeg je stup izgrađen, vrste tla na kojem se temelji, rasponima, visini stupova itd.

Oblik temelja zavisi o dubini i vrsti temeljenja (bunari, kesoni, piloti), te nosivosti temeljnog tla, te eventualno dubini vode. Na plovnim rijekama i morima, gdje je moguć udar broda, ili na rijekama na kojima je moguć udar leda grade se masivni jednodijelni stupovi sa istacima, koji mogu amortizirati udare (ledobrani). Stupovi oko kojih protiče voda potrebno je oblikovati tako da sa tlak vode daje što manju silu na stup.

Stupovi se mogu izrađivati od raznih materijala: opeka, kamen, beton i armirani beton te čelik. U novije vrijeme uglavnom se koriste armirani beton i čelik, s eventualnim oblaganjem kamenom.

U nastavku, razdioba stupova je provedena prema obliku stupova u pogledu sprijeda i izgledu u poprečnom presjeku mosta.



Crtež 5.19: Aksonometrijski crtež stupa

5.5.1 Laki stupovi

Laki masivni stupovi sadrže jedan ili više stupova kružnog, kvadratičnog ili složenog presjeka, s tim da su razlike dimenzija stranica male. Kod ovog tipa stupova karakteristično je to da im je težina svedena na minimum. Mogu se projektirati i bez naglavne grede kod rebrastih rasponskih konstrukcija (ispod svakog rebra jedan stup), ili ispod pločastih, pri čemu ploču treba dimenzionirati da prenosi opterećenje i u poprečnom smjeru.

Pogodni su za viadukte i nadvožnjake ispod kojih je potrebno osigurati dobru preglednost. Nepogodni su za vodotokove, jer zbog malih dimenzija te eventualnih udara plovnih objekata brzo propadaju.

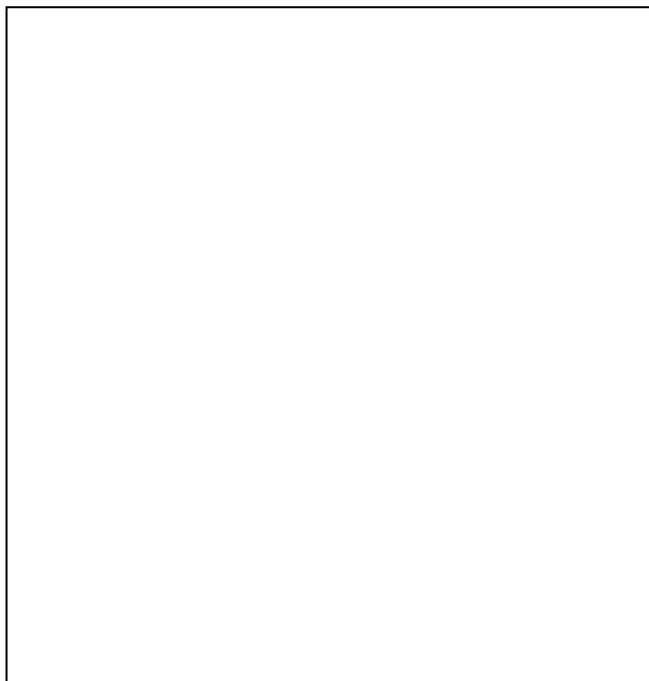
Ako se stup sastoji od više pojedinačnih stupaca, stupci se mogu povezati ili ostaviti nepovezani. Povezivanje se može vršiti naglavnom gredom, te horizontalnim ili kosim

5. Dijelovi mostova

prečkama, što se često koristi kod stupova lučnih mostova, kao i kod pilona visećih i ovješanih mostova.

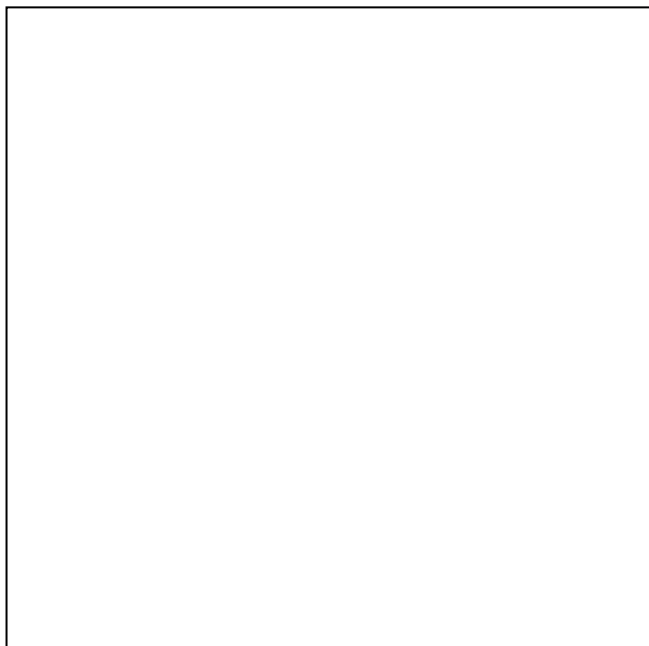
Treba napomenuti da je kod grednih mostova najčešće nepomični ležaj smješten na upornjacima, tako da se na stupovima od horizontalnih sila s rasponske konstrukcije prenose samo sile otpora ležajeva, što omogućava vrlo elegantne dimenzije ovih stupova. Dakako, ovdje valja imati mjeru i ne pretjerivati u izboru minimalnih dimenzija.

Neki primjeri lakih stupova prikazani su na crtežu 5.20, a primjeri presjeka stupova na crtežu 5.21.



Tonković, MMOP, crtež 235, str 198

Crtež 5.20: Neke oblikovne varijante lakih stupova



Tonković, MMOP, crtež 247, str 204

Crtež 5.21: Raznoliki poprečni presjeci armiranobetonskih lakih stupova

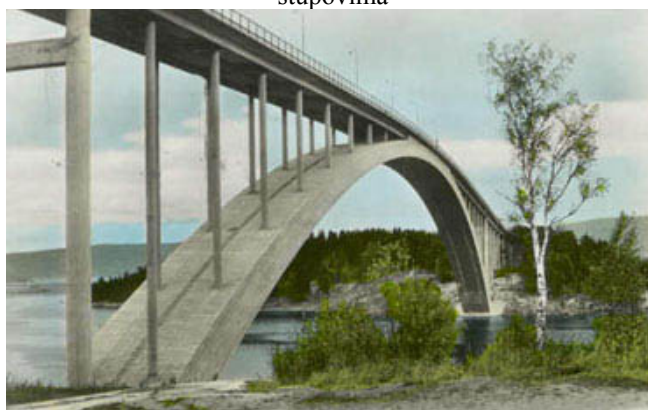
U nastavku, na crtežu 5.22 prikazani su neki mostovi s različitim oblicima i uklapanjima lakih stupova.



Primjer suvremene pasarele s lakim pojedinačnim stupovima



Most Zdakov, Češka – primjer lukičnog mosta s lakim stupovima



Most Sando, Švedska – primjer lukičnog mosta s lakim stupovima

Crtež 5.22: Neki primjeri lakih stupova

5.5.2 Lake stijene

Drugi tip stupova, prikladan za gredne rasponske konstrukcije jesu lake stijene. Takvi stupovi su također tanki, ali im je širina znatno veća, dakle, umjesto štapne ovdje je riječ o pločastoj konstrukciji. Ovi su stupovi povoljniji za vodotokove i mjesta na kojima su stupovi izloženi oštećenjima. Armatura u njima je zaštićenija nego u stupcima, a vlastita težina im je još uvijek malena.

Lake stijene mogu po širini pratiti širinu mosta ili mogu biti sastavljene od više dijelova. Po visini mogu biti ravnih, zakošenih ili složenih linija.



Tonković, OM, crtež 60, str 67

Crtež 5.23: Gredni most sa stupovima u obliku lakih stijena

5.5.3 Masivni stupovi

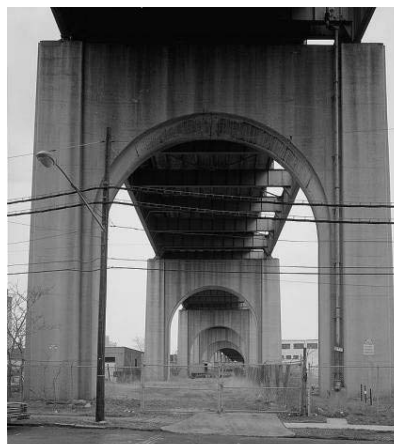
Povijesno gledano, prvi stupovi koji su se pojavili kod masivnih mostova su masivni stupovi. Ovi stupovi mogu biti izrađeni, osim od armiranog betona i čelika, i od kamena, opeke ili nearmiranog betona.

Klasični forma gradnje masivnih stupova je da im debljina raste od vrha prema dnu, gdje su najdeblji. Varijantno rješenje je jednaka debljina ili obratna forma gdje debljina raste prema vrhu stupa (moderni mostovi).

Prednost ovih stupova je njihova dugotrajnost, posebno ako su izgrađeni ili obloženi prirodnim kamenom. Nedostatak je njihova velika težina.



Pont du Gard – Zidani kameni stupovi



Most Bayone, SAD – masivni betonski stupovi

Crtež 5.24: Neki primjeri masivnih stupova

5.5.4 Olakšani stupovi

Dakle, masivni stupovi su vrlo teški i zahtijevaju vrlo široke temelje, posebice za gredne mostove gdje su stupovi visoki. Da bi se smanjila njihova težina moguće je predvidjeti štedne otvore u stupovima ili predvidjeti šuplje stupove. Kod modernih armiranobetonskih stupova, šuplji stupovi na najbolji način iskorištavaju karakteristike oba materijala: čelika i betona. Modernim tehnologijama građenja moguće je postići i visoke šuplje stupove promjenjivih dimenzija.



Most Maslenica, Hrvatska



Most Neckarbrücke, Njemačka

Crtež 5.25: Neki primjeri modernih mostova s šupljim stupovima

5.5.5 Stupovi osebujnih oblika

Osim prethodno izloženih oblika, u mostogradnji su se pojavili i stupovi vrlo osebujnih oblika. Neki od njih su prikazani na sljedećim primjerima.



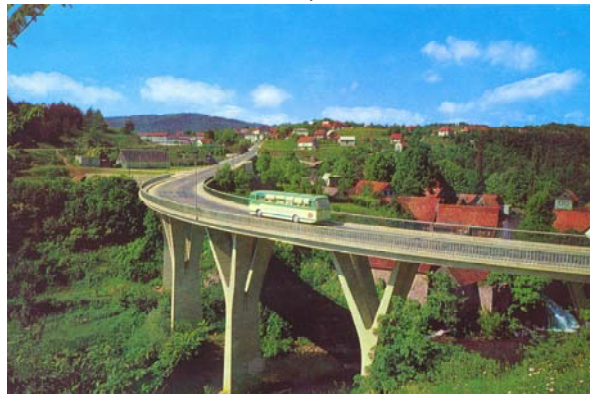
Most Raaaaa-aan, Švedska



Most Arbois, Francuska



Most Pyung Yeo 2, Koreja



Most preko Korane kod Slunja, Hrvatska

Crtež 5.26: Osebujni oblici stupova nekih mostova

5.5.6 Piloni

Piloni su stupovi kod ovješanih i visećih mostova koji se uzdižu visoko nad niveletom. Neki oblici pilona prikazani su na crtežima 5.27 - 5.33. Njihov oblik može biti raznolik, a ovisi o načinu vješanja glavne rasponske konstrukcije (lateralno ili aksijalno).

Piloni su opterećeni tlačnom silom koju im predaju vješaljke (ili glavno uže), te horizontalnim silama vjetra i potresa.



Akashi Kaikyo, Japan



Verrazano Narrows, USA



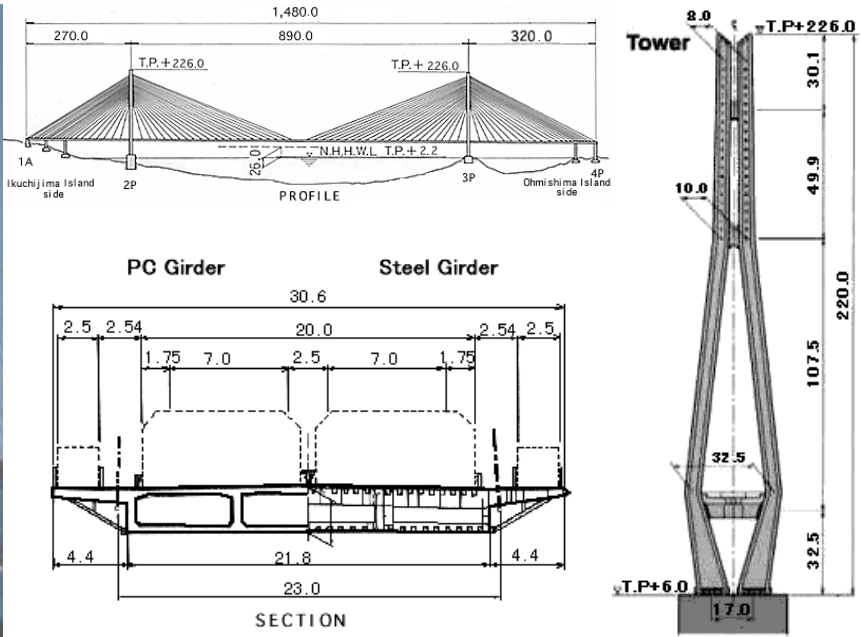
Brooklyn Bridge, USA



Högabruket Bridge, Švedska

Crtež 5.27: Oblici pilona nekih visećih mostova

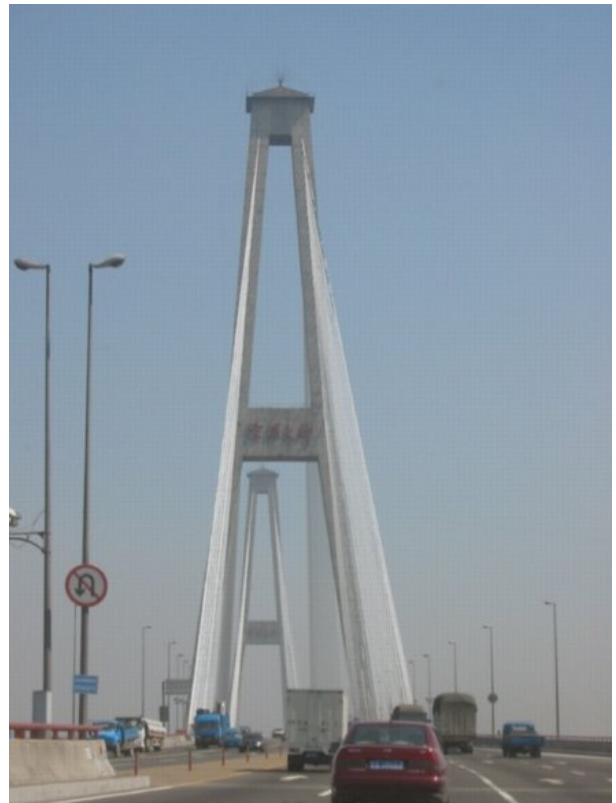
5. Dijelovi mostova



Tatarashiwa, Japan



Pont de Normandie, Francuska



Xupu, Kina

Crtež 5.28: Oblici pilona nekih ovješanih mostova



Øresund, Danska



Meiko Chuo, Japan

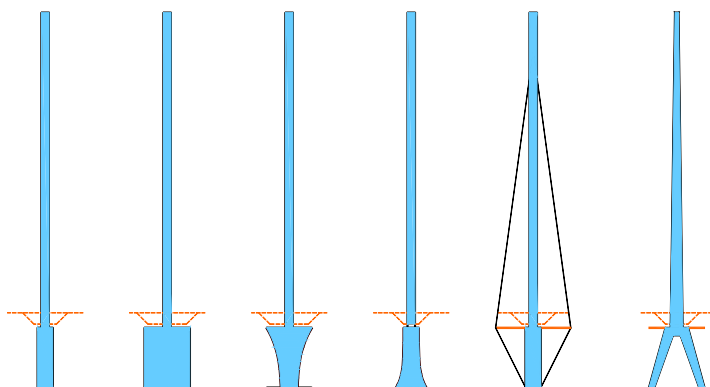


Wadi Leban Bridge, Saud. Arabija

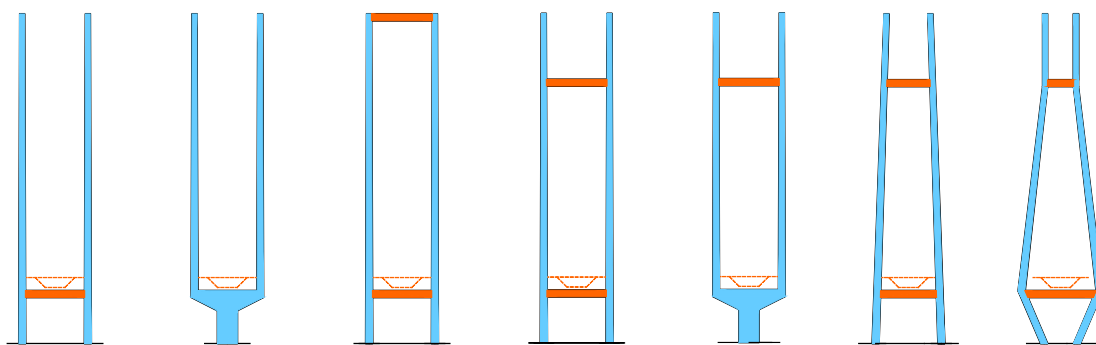


Most Flughafen, Njemačka

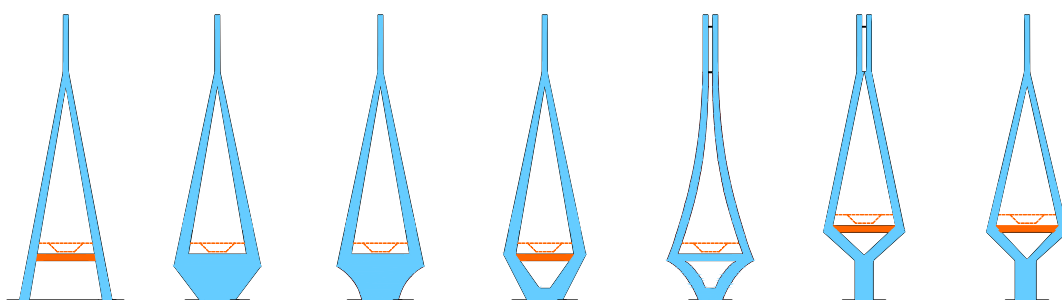
Crtež 5.29: Oblici pilona nekih ovješnih mostova



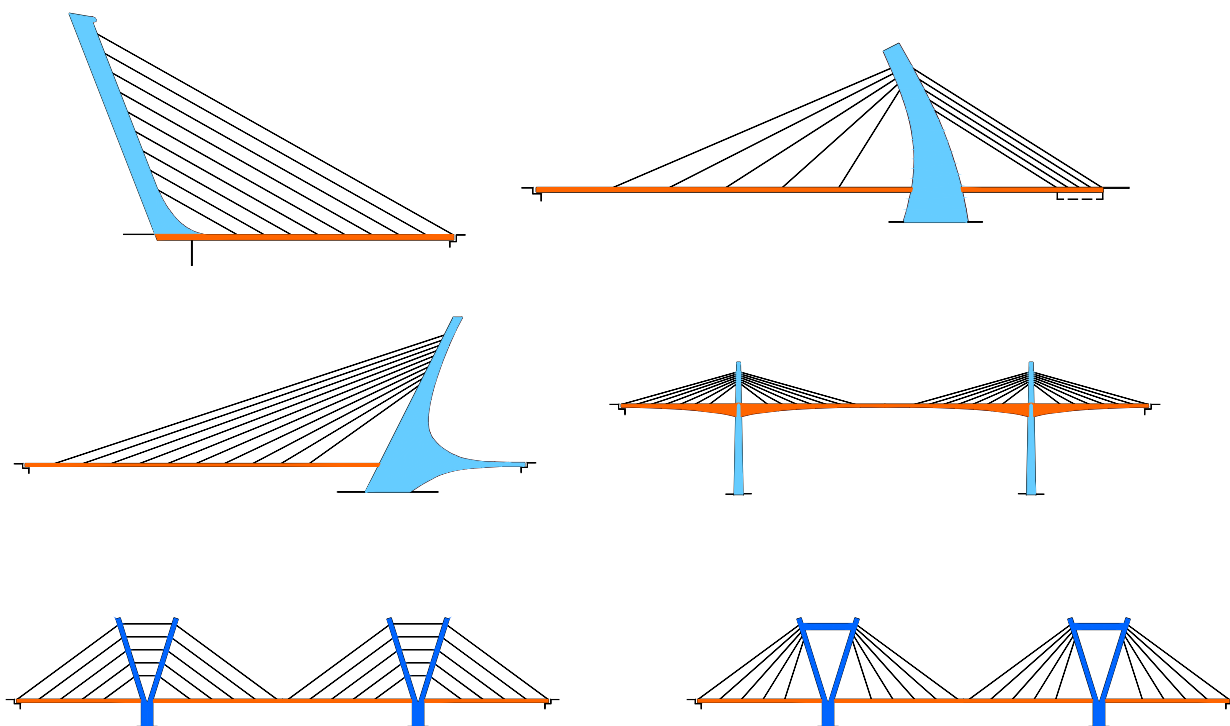
Crtež 5.30: Oblici pilona ovješnih mostova – I piloni



Crtež 5.31: Oblici pilona ovješanih mostova – H piloni



Crtež 5.32: Oblici pilona ovješanih mostova – A piloni (obrnuti Y piloni)

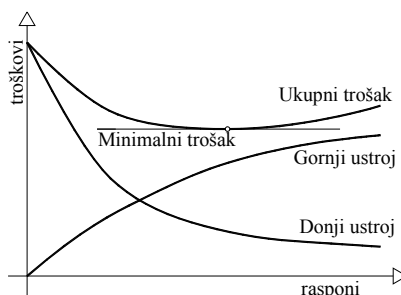


Crtež 5.33: Oblici pilona ovješanih mostova – neki osebujni piloni

5.6 LUKOVI I SVODOVI

5.7 RASPONSKA KONSTRUKCIJA

Dimenzije i broj raspona ovise o funkcionalnim, estetskim i ekonomskim zahtjevima. Za prijelaz rijeke ili prometnice minimalni rasponi uvjetovani su njihovim gabaritima. Kad minimalni rasponi nisu određeni gabaritom, raspone, a o njima ovisi i broj stupova, treba tako odabrati da ukupni troškovi donjeg i gornjeg ustroja budu minimalni (crtež 5.34). Na troškove donjeg ustroja utječe dubina temeljena i nosivost tla, a na troškove gornjeg ustroja rasponi, širina mosta, opterećenje, materijal nosive konstrukcije i statički sustav.



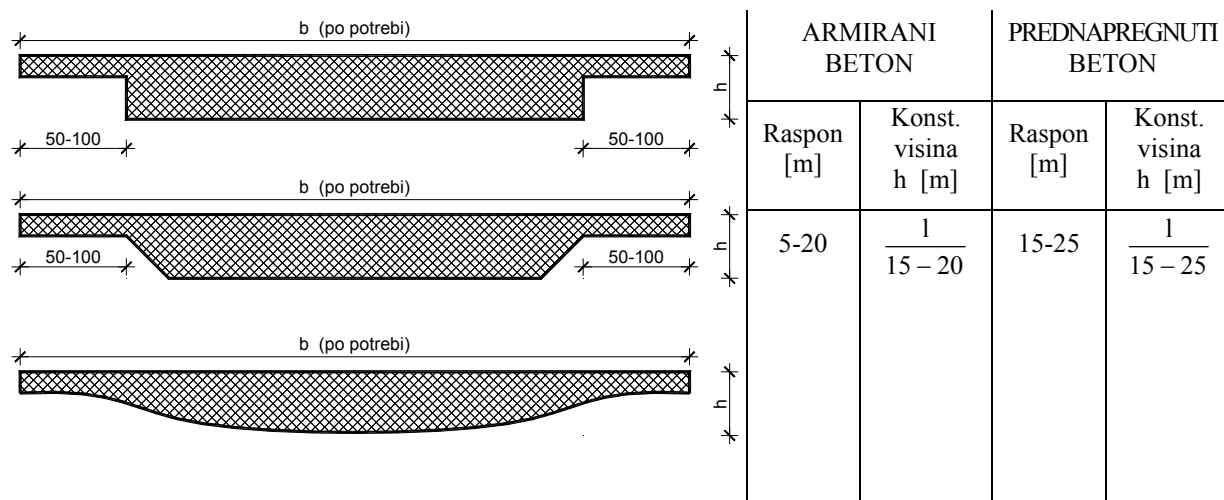
Crtež 5.34: Dijagram optimalne dispozicije mosta

Rasponska konstrukcija premoštava raspone, a ovisno o njihovoj veličini biraju se poprečni presjeci rasponske konstrukcije. U nastavku su prikazani neki presjeci rasponskih konstrukcija i rasponi na kojima su optimalni.

5.7.1 Pločasti presjeci

Najjednostavnija rasponska konstrukcija je puna ploča. Armatura je jednostavna, potrebna je najmanja količina oplata i ugradnja betona je laka. S druge strane zahtjeva veliku količinu betona što povećava vlastitu težinu, te rezne sile u konstrukciji. Nije preporučljivo graditi suviše velike konzole za smještaj pješačkih staza, jer su tada rubovi ploča vrlo opterećeni. U estetskom pogledu povoljno djeluju trapezasti i zaobljeni presjeci.

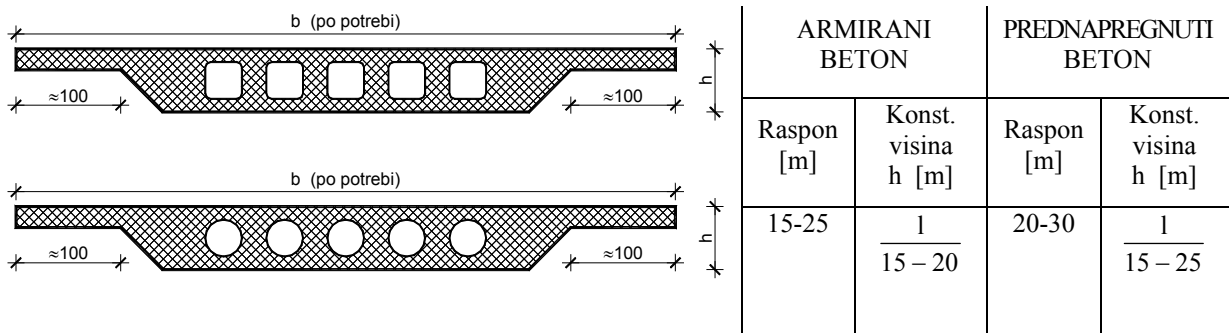
Svrha šupljih ploča je smanjenje vlastite težine (i do 30%). Primjenjuju se kada su debljine ploča veće od 70 cm. Šupljine mogu biti okrugle ili nekog drugog oblika. Šupljine se izvode pomoću limenih ili kartonskih cijevi s izolacijom. Potrebno ih je dobro usidriti da ih uzgon prilikom betoniranja ne izbací iz njihovog položaja.



Crtež 5.35: Puna betonska ploča

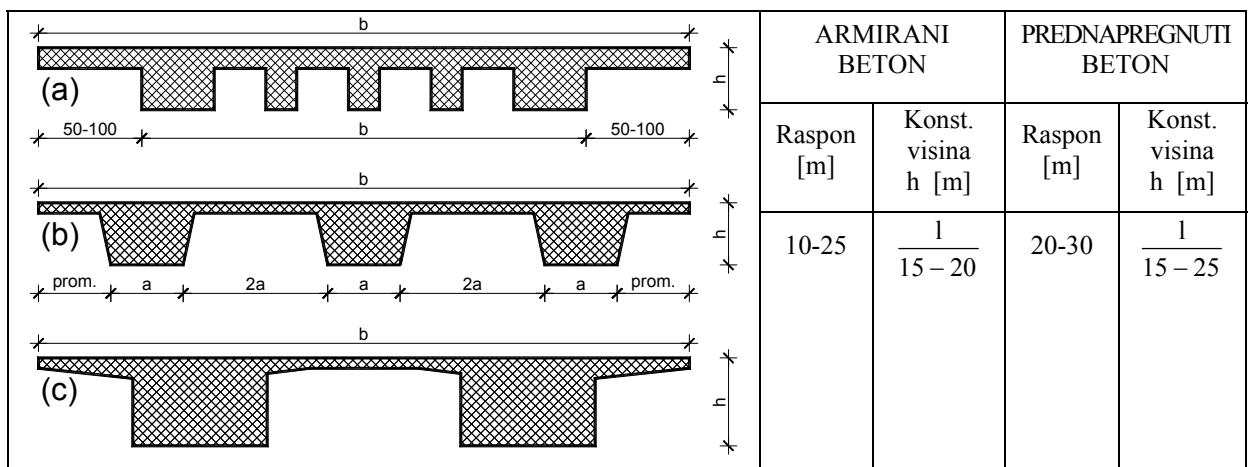
5. Dijelovi mostova

Zahvaljujući samnjenju vlastite težine, sa šupljim pločama se postižu nešto veći rasponi za istu konstruktivnu visinu ploče



Crtež 5.36: Ošupljena betonska ploča

Smanjenje vlastite težine može se postići i kasetiranim presjecima ili presjecima sa širokim nosačima (pločama). Neki primjeri prikazani su na crtežu 5.37.



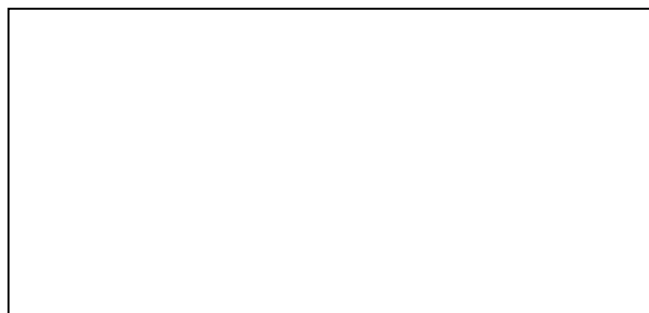
Crtež 5.37: Kasetirani presjek (a), široki nosači (b) i (c)

Težnja za što bržom izgradnjom mostova dovela je do razvoja montažne gradnje, pa se tako i pločasti mostovi izvode montažno. Prednosti su: visoka kvaliteta betona, ušteda na oplati i skeli, brza gradnja i slobodan gabarit ispod mosta za vrijeme gradnje. Ploče se sastoje od užih dijelova čitave duljine koji se međusobno spajaju tako da se između njih ostavi slobodan prostor širine 15-20 cm koji se kasnije zapunja betonom (crtež 5.38). Drugi način je da se elementi u poprečnom smjeru prednapregnu, a treći da predgotovljeni elementi posluže kao izgubljena oplata (crtež 5.39).



folija 50

Crtež 5.38: Montažni šuplji elementi



TE, str. 670, sl. 14

Crtež 5.39: Polumontažna izvedba ploče

5.7.2 Rebrasti presjeci

Rebrasti poprečni presjeci sastoje se od jednog ili više rebara (glavnih nosača) međusobno povezanih kolovoznom pločom i poprečnim nosačima. To su vrlo ekonomične konstrukcije. Gornja ploča služi ne samo za prijenos u poprečnom smjeru na rebra, nego je sastavni dio gornjeg pojasa. Povoljna su svojstva ovih mostova relativno male količine betona i čelika, odnosno kabla, a time i mala težina koja opterećuje donji ustroj, te mogućnost montažne gradnje. Mana im je komplicirana oplata i armatura. Neki primjeri poprečnih presjeka prikazani su na crtežu 5.40.

		ARMIRANI BETON		PREDNAPREGNUTI BETON	
		Raspon [m]	Konst. visina h [m]	Raspon [m]	Konst. visina h [m]
		(a)			
		10-30	$\frac{l}{10-15}$	–	–
		(b)			
		10-30	$\frac{l}{10-15}$	25-45	$\frac{l}{15-20}$
		(c)			
		–	–	15-25	$\frac{l}{10-25}$
		(d)			
		–	–	25-45	$\frac{l}{15-25}$
		(e)			
		–	–	25-45	$\frac{l}{15-25}$

Crtež 5.40: Rebrasti presjeci

Rebrasti mostovi od armiranog betona ekonomični su do raspona od oko 30 m. Danas sve veći primat zauzimaju mostovi od prednapregnutog betona. Upotrebom prednapregnutog betona smanjuje se opasnost od pojave pukotina, što osigurava trajnost mostova. Ujedno, potrebno je manje materijala, pa su moguće vitkije konstrukcije s manjom konstruktivnom visinom. Prednaprezanje može biti prethodno (npr. presjek c) ili naknadno (c, d i e), što je mnogo češće. Naknadno prednapeti elementi često imaju karakteristični I presjek: uski hrbat (jer potrebna armatura ne ovisi o njegovoj debljini) te širi donji pojas za prolaz kablova i

prihvatanje tlačnih naprezanja od prednaprežanja. Postoje rješenja i bez proširenja donjeg pojasa (T presjeci), no tada je potrebna veća konstruktivna visina nosača. Gornji pojas može biti uzak (d) ili širok (e). Uski gornji pojas zahtjeva dodatnu oplatu za betoniranje gornje ploče, ali je lakša manipulacija nosačima.

Broj rebara ovisi prvenstveno o širini mosta, ali i o raspoloživoj konstruktivnoj visini. Ako konstruktivna visina nije ograničena povoljna su rješenja s 3 do 5 glavnih nosača (ovisno o traženoj širini). Manji broj nosača zahtjeva deblju ploču, a pri većim rasponima potrebno je ploču i dodatno poprečno prednapregnuti. Kod ograničenih konstruktivnih visina izvode se presjeci s većim brojem nosača male visine.

Poprečni nosači se obično izvode nad stupovima i upornjacima. Ugradnjom poprečnih nosača u polja između stupova, odnosno između upornjaka i stupova, poprečna se raspodjela opterećenja poboljšava, ali se znatno komplicira izvedba.

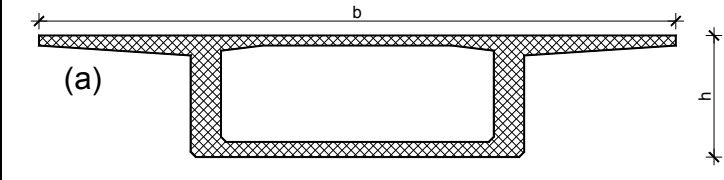
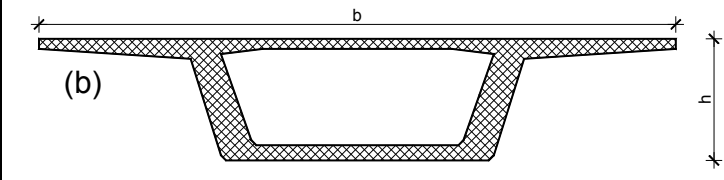
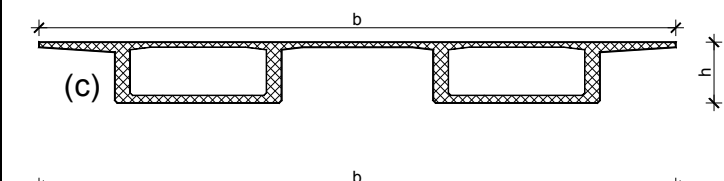
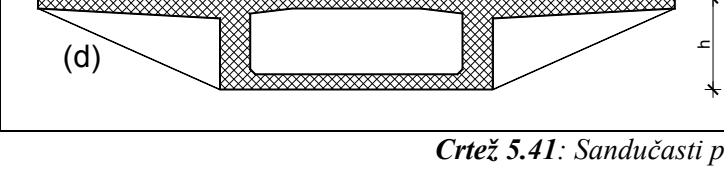
5.7.3 Sandučasti presjeci

Sandučasti presjeci primjenjuju se za mostove raspona većih od 40 m, a kada su mostovi u krivini za raspone veće od 20 m. Oni su, naime, osobito pogodni za mostove u krivini zbog svoje relativno velike torzijske krutosti. Također su vrlo prikladni za prednapregnute kontinuirane nosače, jer donji pojas, a pogotovo gornji imaju znatnu širinu.

Osim toga, debljina pojasnih ploča može se jednostavno prilagoditi momentima, a kablovi i armatura mogu se lako smjestiti u vlačni pojas. Zbog velike širine tlačnog pojasa, tlačna naprezanja su redovito mala, što bitno smanjuje puzanje, pa su naročito pogodni za prednapregnute mostove.

Nedostatak sandučastih mostova je relativno komplicirana oplata i armatura, što ih i čini neekonomičnim na manjim rasponima.

Iz estetskih i ekonomskih razloga hrptovi se zakošuju. Poprečne dijafragme obično nije potrebno ugrađivati osim na osloncima. Sandučasti presjeci se primjenjuju i kod konstrukcija betoniranih na gradilištu i kod montažnih konstrukcija koje se sastoje od segmenata.

		ARMIRANI BETON		PREDNAPREGNUTI BETON	
		Raspon [m]	Konst. visina h [m]	Raspon [m]	Konst. visina h [m]
		(a)			
		–	–	30-200	$\frac{1}{12-20}$
		(b)			
		–	–	30-200	$\frac{1}{12-20}$
		(c)			
		–	–	30-200	$\frac{1}{12-20}$
		(d)			
		–	–	60-250	$\frac{1}{15-30}$

Crtež 5.41: Sandučasti presjeci

5.7.4 Koritasti presjeci

Koritasti presjeci imaju kolovoznu konstrukciju upuštenu između dva glavna nosača (crtež 5.42). Dobra im je strana da imaju malu konstruktivnu visinu, a mana im je mala tlačna zona glavnih nosača. Primjenjuju se gotovo isključivo za željezničke mostove, a za cestovne samo izuzetno.

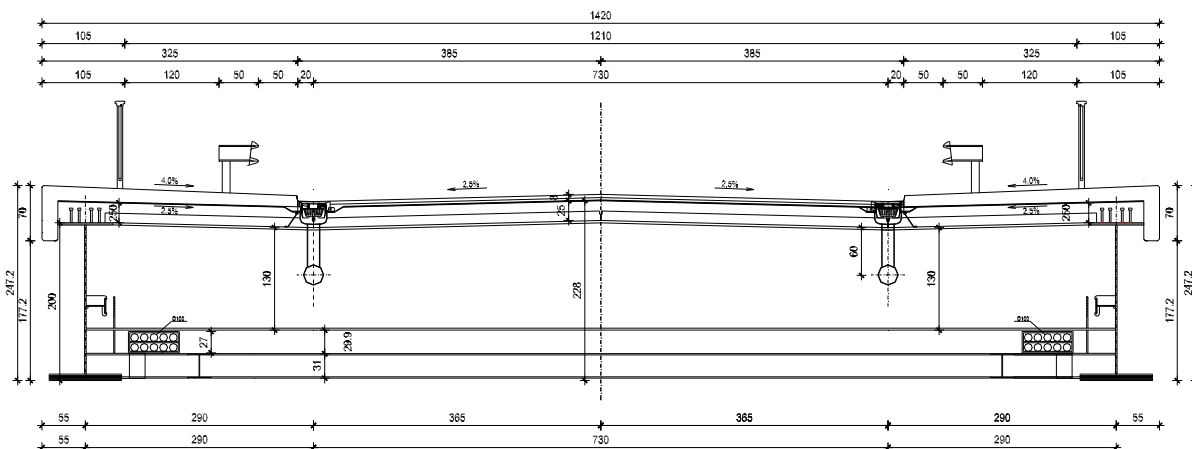


TE, str. 673, sl. 30

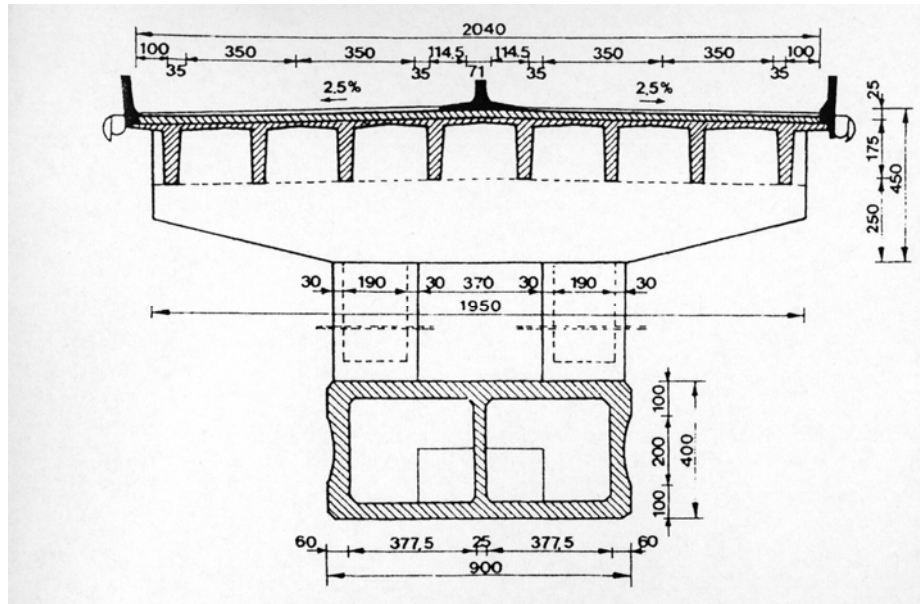
Crtež 5.42: Koritasti presjek

5.7.5 Poprečni presjeci čeličnih i spregnutih mostova

Čelični i spregnuti mostovi obično imaju rebrasti ili rešetkasti poprečni presjek. Rebrasti poprečni presjeci najčešće se sastoje od dva ili više glavnih nosača, koji su povezani poprečnim nosačima.



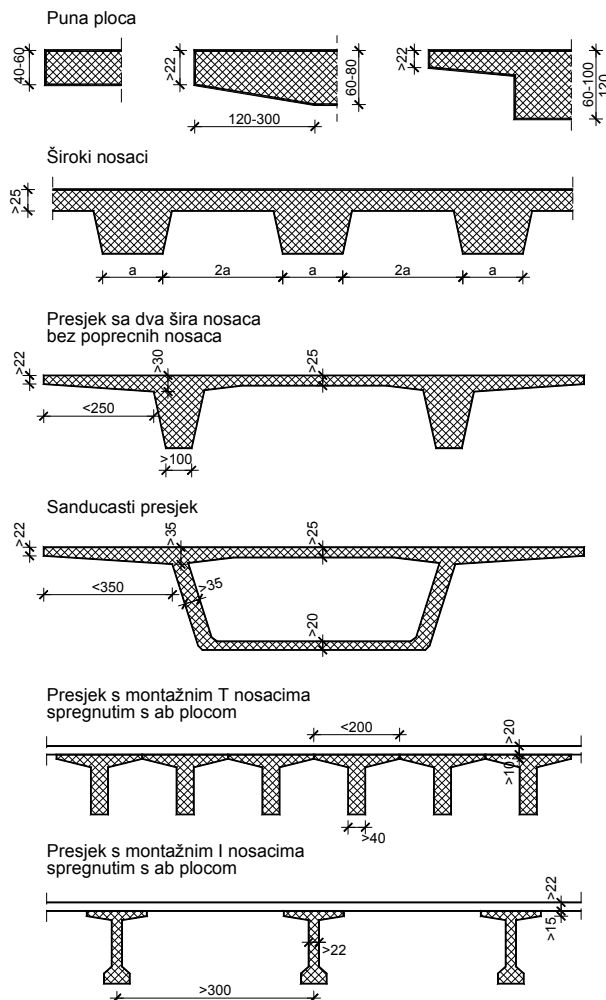
Crtež 5.43: Poprečni presjek Dubrovačkog mosta



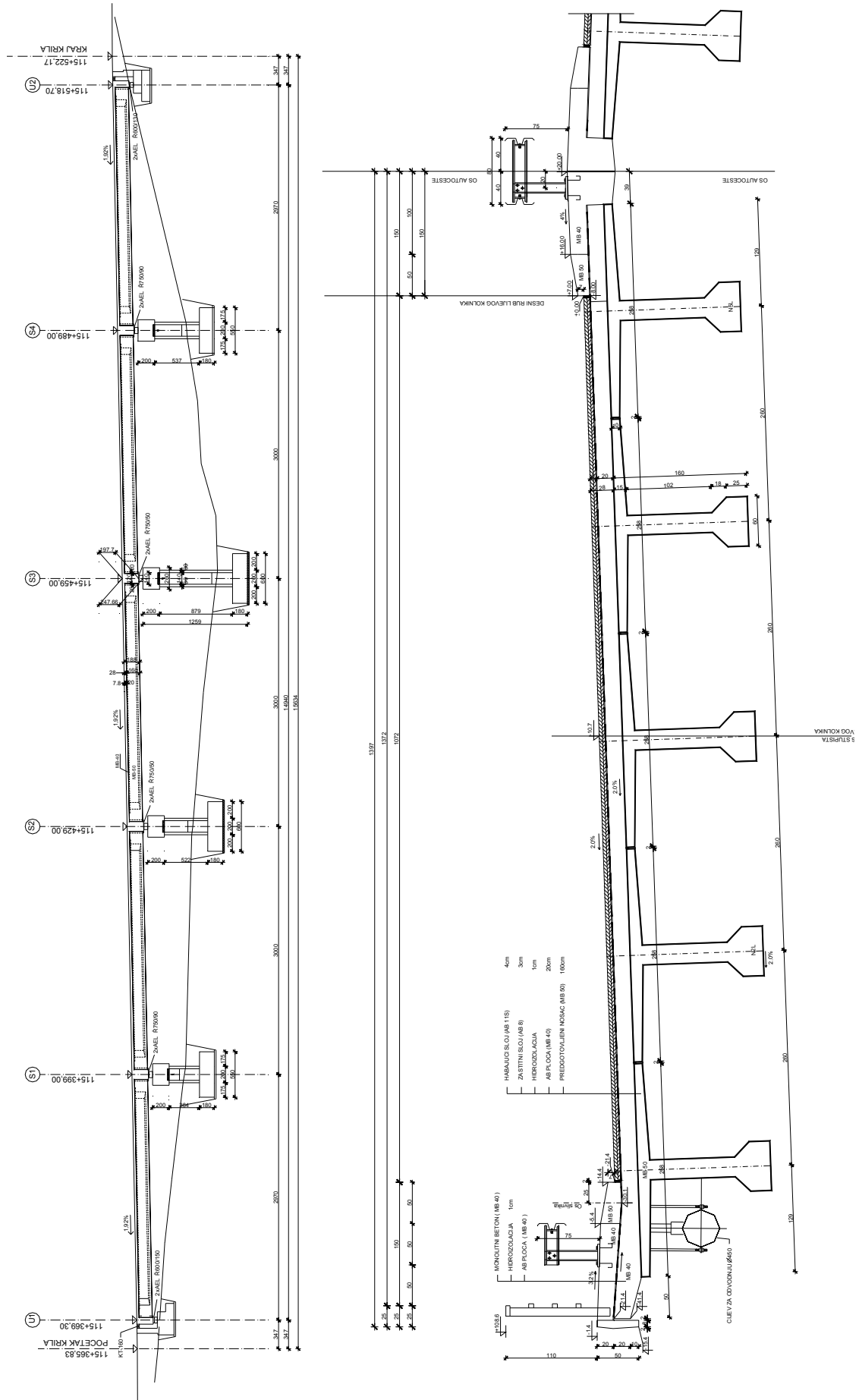
Crtež 5.44: Poprečni presjek Masleničkog mosta

5.7.6 Neke preporučljive dimenzije

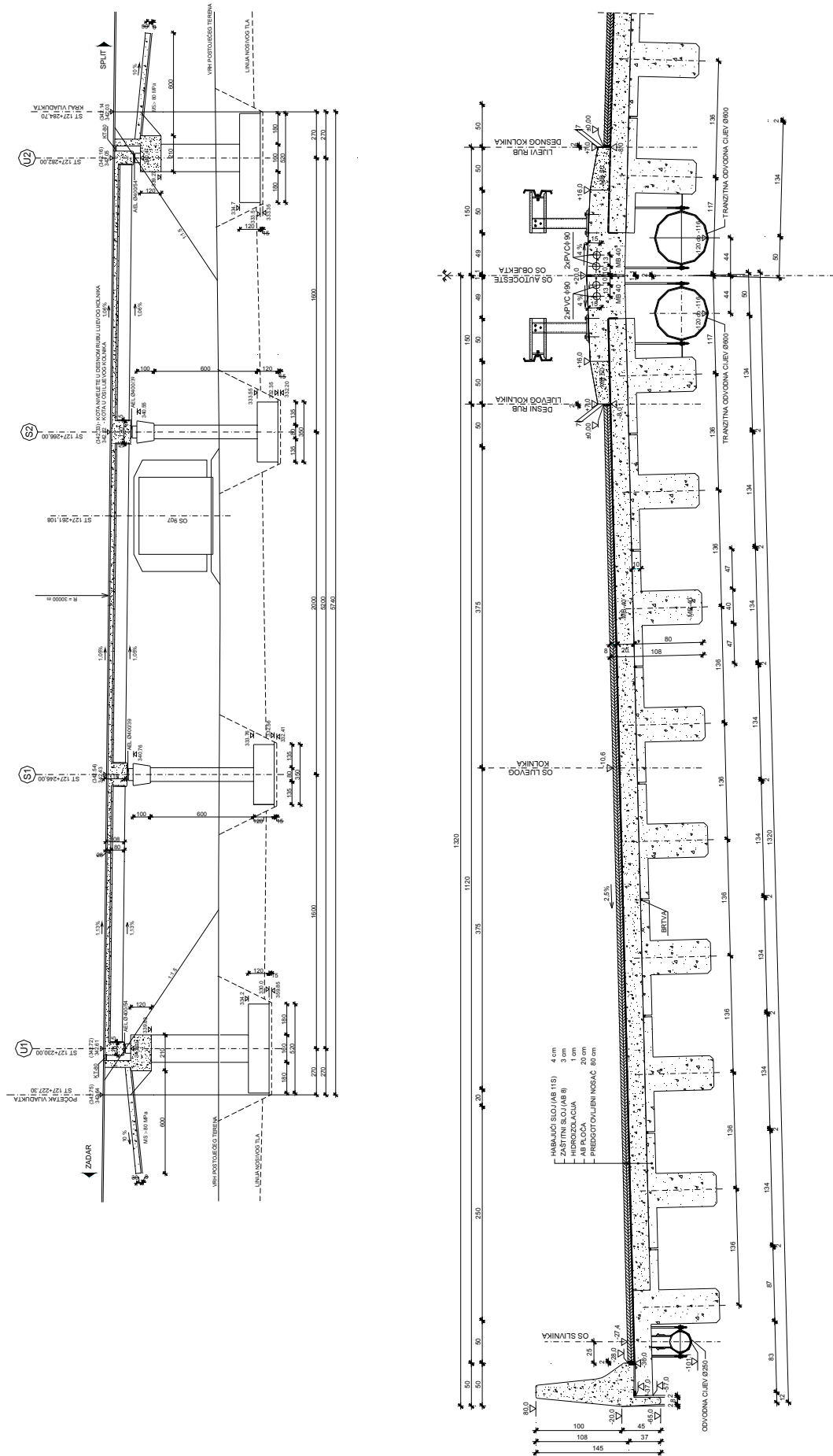
Na crtežu 5.45 dane su neke preporučljive dimenzije armirano betonskih i prednapregnutih mostova.



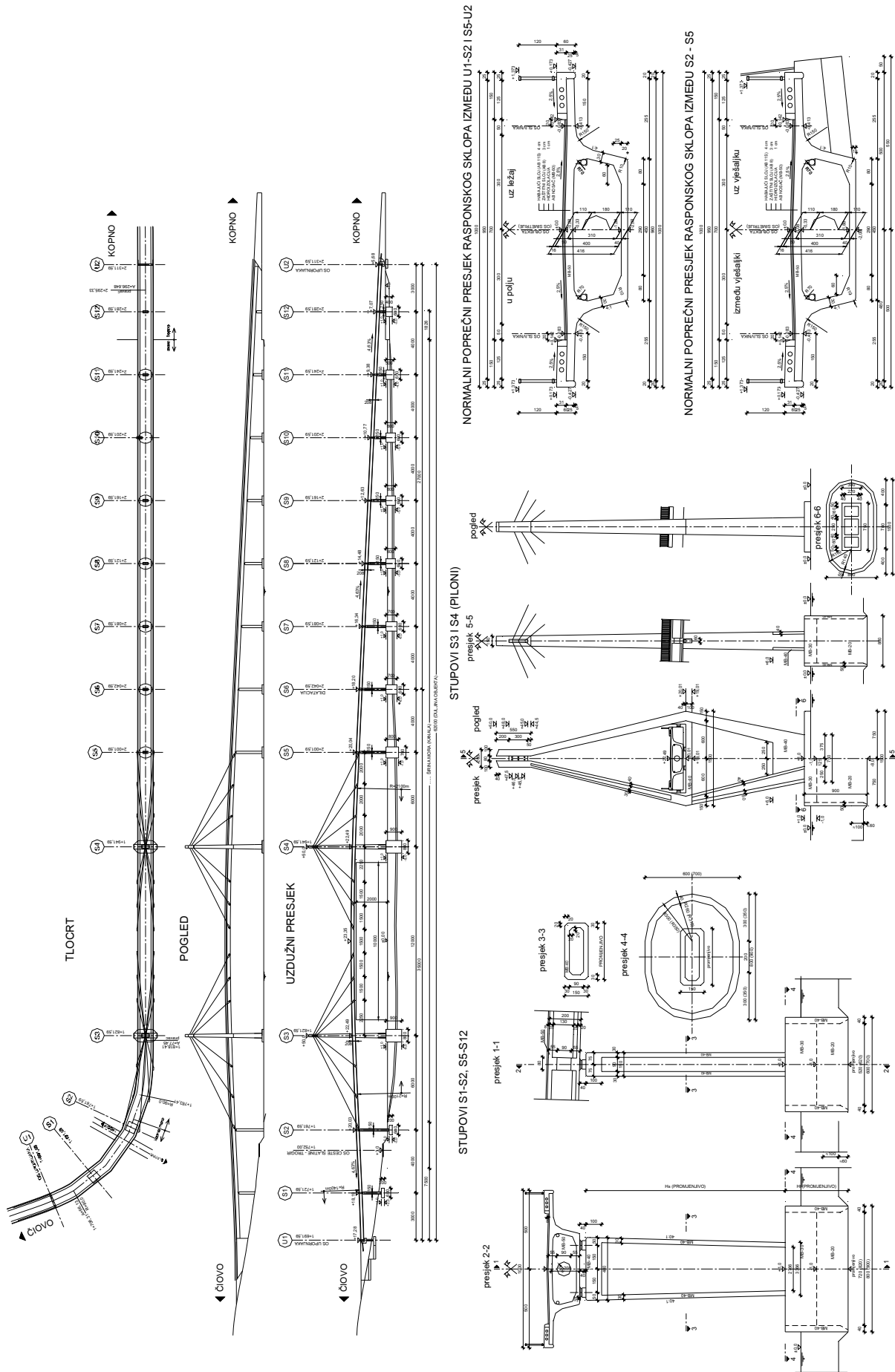
Crtež 5.45: Orijentacijske dimenzije armiranobetonskih i prednapregnutih mostova



Crtež 5.46: Uzdužni i poprečni presjek viadukta na autocesti, prednapregnuti glavni nosači



Crtež 5.47: Uzdužni i poprečni presjek viadukta na autocesti, armiranobetonski glavni nosači



Crtež 5.48: Uzdužni i poprečni presjek ovješnog mosta, sandučasta rasponska konstrukcija

6. Građenje mostova

6.1 UVOD

Građenje mostova predstavlja poseban inženjerski izazov. O pojedinim načinima građenja postoji opsežna literatura, a također se u svijetu izdaje niz časopisa posvećenih toj tematici. Čak i općeniti prikaz najvažnijih načina građenja može ispuniti čitavu jednu knjigu. U ovom poglavlju cilj je prikazati neke postupke građenja koji se najčešće upotrebljavaju pri gradnji mostova, navodeći tek njihove općenite prednosti i nedostatke.

Još donedavno masivne konstrukcije mostova gradile su se na skelama, pomoćnim napravama koje su nosile konstrukciju dok ona nije bila sposobna nositi samu sebe. Ove skele su bile nepokretne, a da bi ih iskoristili na drugom mjestu morali bi ih rastaviti i dio po dio premjestiti. Za neke mostove ove su skele bile unikatne građevine, često složenije konstrukcije i od samog mosta. Metalni mostovi izvodili su se spajanjem na licu mjesta - zakivanjem ili pritezanjem vijcima, a da bi se omogućio rad i za njih je bilo potrebno podizati skele.

U novije vrijeme, težnjom za bržom i jeftinijom izgradnjom, iznađen je niz postupaka kojima se značajno skraćuje vrijeme gradnje mosta, a istovremeno postiže i znatna ušteda u materijalu i radu. Primarni cilj graditelja mosta je dakle, što lakše, što jednostavnije i što jeftinije napraviti prikladnu nosivu konstrukciju u što kraćem vremenu. Dakako, da sa stajališta korisnika mosta ovi zadaci uopće nisu zanimljivi, stoga se postupci izgradnje moraju ocijeniti i sa stajališta uporabne vrijednosti mosta. Načini izgradnje nisu sami sebi svrha nego su tek put u ostvarivanju konačnog cilja - oblikovno vrijedne i svrsishodne građevine - mosta.

Stanoviti postupci građenja imaju i obratan utjecaj, tj. direktno utječu na konstruktivni (statički) sustav građevine, pa i opće dispozicije mosta. Kod sustava izvedenih na nepokretnim skelama obično se smatralo da u sustavu ne dolazi do značajnijih naprezanja sve do trenutka otpuštanja skele, a tu se pretpostavku nastojalo i što bolje ostvariti. Dakle, sustav se promatrao kao stvoren odjednom bez utjecaja koji su posljedica postupnog građenja. Kod modernih postupaka utjecaj fazne gradnje je vrlo bitan i ne smijemo ga zanemariti. Kod niza postupaka konstrukcija tokom gradnje mijenja više statičkih sustava i često, tijekom gradnje prima veće sile nego što će ih imati tokom eksploatacije.

Kad govorimo o građenju mosta uvijek se daje naglasak na građenju rasponske konstrukcije (ili lukova kod lučnih mostova), često izostavljajući tehnike građenja temelja, upornjaka i stupova mosta. U nekim slučajevima događalo se da je složenije (i dakako skuplje) izvesti temelje nego cijeli most.

Kad ocjenjujemo prednosti i nedostatke različitih postupaka izvođenja, moramo imati u vidu i to da li se određenim postupkom može prikladno udovoljiti svim bitnim zahtjevima na most. Baš iz tog razloga neophodno je poznavati što više uhodanih (uobičajenih) i posebnih (specijalnih) postupaka. Pri tome treba također imati na umu da postoje i naročiti mostovi čija vrijednost izlazi izvan zanatskih okvira, pa ih moramo promatrati kao zasebne cjelovite objekte kako u pogledu njihovog građenja, tako i u pogledu svih ostalih zahtjeva koji se postavljaju za takvu građevinu.

6.2 OPĆI POSTUPCI GRADNJE

Općenito se gradnja mostova može podijeliti na tri postupka:

- monolitni,
- montažni,
- kombinirani.

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

6.3 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 patenata.

U izrazito lošim tlima (mulj, močvara i sl.) za izradu temelja se koriste bunari ili kesoni.

6.4 GRAĐENJE UPORNJAKA I STUPOVA

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.

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.

S druge strane, 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.

Neki od najčešćih načina navedeni su u nastavku.

6.4.1 Izvedba stupova na licu mjesta

Osnovni način izvedbe stupova jest izvođenje na licu mjesta, betoniranjem ili zidanjem (kod zidanih stupova). Pri tome se za betoniranje može koristiti potpuna standardna oplata, sektorska oplata ili klizna oplata.

6.4.1.1 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.

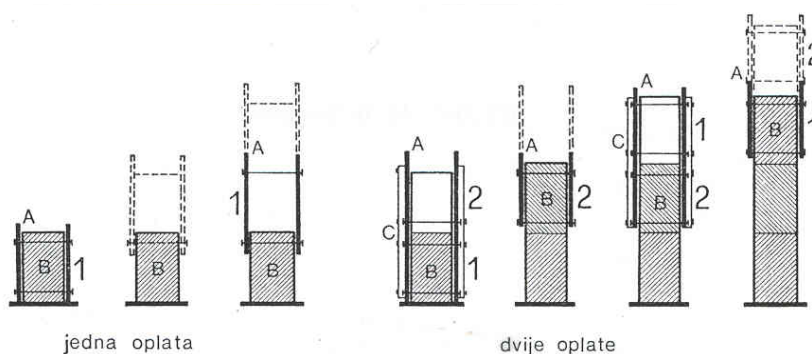
6.4.1.2 Sektorska oplata

Kada su stupovi visoki izrađujemo ih u odsjecima 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. Postoji niz različitih načina premještanja i detalja spajanja oplate, od kojih su neki patentirani.

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.

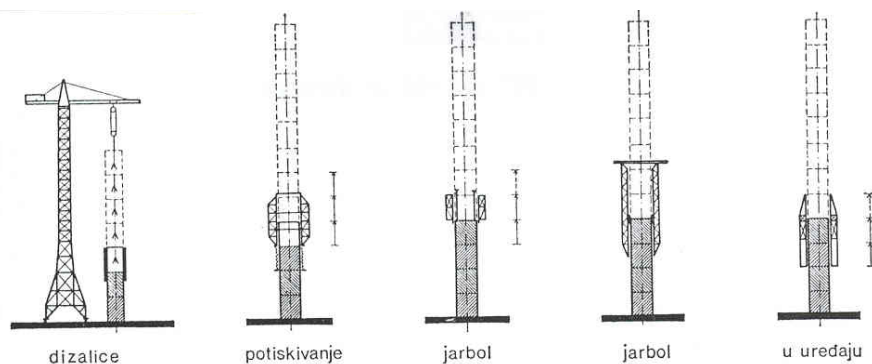
Rad s jednom i dvije sektorske oplate prikazan je na slici 6.1.



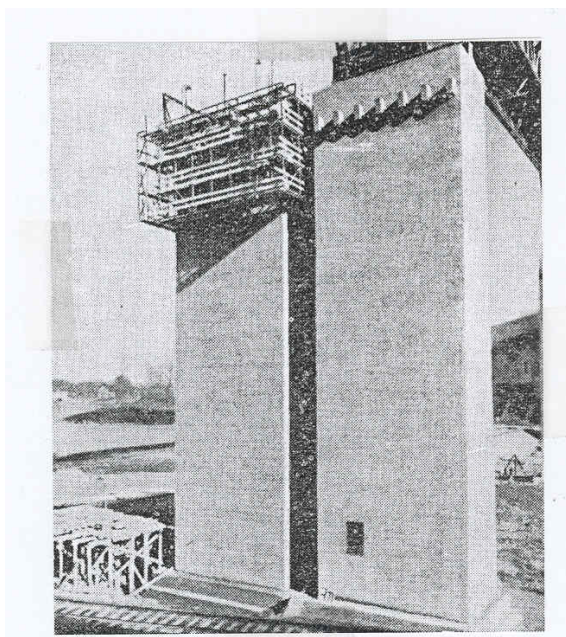
Slika 6.1: Primjer izrade stupa s jednom i dvije sektorske oplate

Premještanje oplate 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 (slika 6.2).

Oplate se mogu izvesti i na način da im se dimenzije mogu mijenjati, pa je na taj način moguće izvoditi i stupove promjenjiva oblika.



Slika 6.2: Primjeri podizanja sektorske oplata



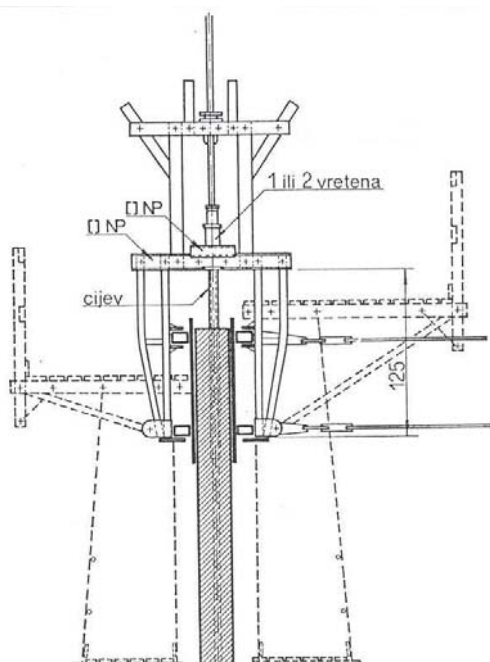
Slika 6.3: Sektorska oplata stupa nekog vijadukta

6.4.1.3 Klizna oplata

Premještanje oplata i uređaja može se odvijati neprekidno stanovitom brzinom, a što mora pratiti i betoniranje. Zato se rad s kliznim oplatom 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 $\phi 32$ - $\phi 36$), koje se nastavljaju na pogodnim mjestima, a kasnije trajno ostaju zabetonirane u tijelo stupa (slika 6.4).

Osim stupova konstantnog poprečnog presjeka, kliznim oplatom se mogu izvoditi i stupovi kojima postoji promjena debljine stijenke. Tako su kliznom oplatom izvedeni stupovi "Europa Brücke" kraj Innsbrucka u Austriji, koji su visine 146 m, šupljeg poprečnog presjeka, a debljina stijenke se mijenja od 55 do 35 cm. Srednja brzina kretanja je bila 5.4 m na dan.



Slika 6.5: Skica uređaja za rad klizanjem

Još neke napomene

Radovi sa sektorskim i kliznim oplatama uzrokuju neke specifične probleme, od kojih će se navesti samo neki:

- 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 valjalo bi izbjegavati naglavnice, jer one znatno kompliciraju završetke stupova.

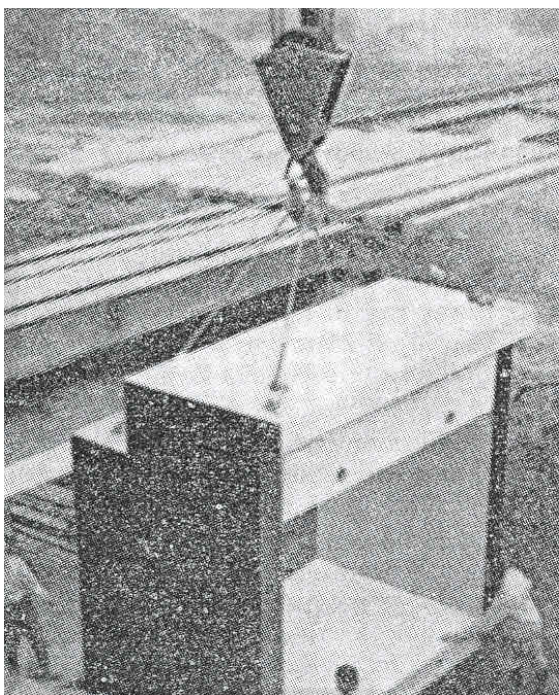
Uz navedene prednosti i nedostatke ovih postupaka, korisno je istaknuti da se ovim načinima dobivaju monolitni stupovi koji se mogu prikladno zaštititi od propadanja zbog prodiranja vlage i vode u unutrašnjost betona.

6.4.2 Izvedba polumontažnih i montažnih stupova

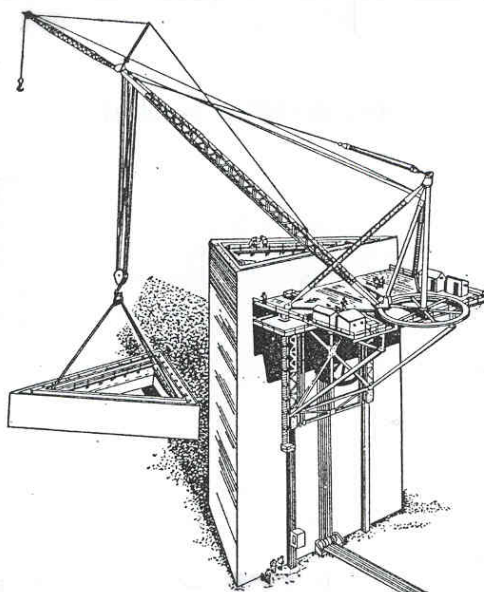
Stupovi (i upornjaci) mogu biti izvedeni od komada koji su izrađeni izvan mosta te pomoću određenih naprava dopremljeni i montirani u konačni položaj.

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 jarbolima ili derik dizalicama, tako da visina stupa ne bude prepreka podizanju komada. Na slici 6.5 prikazana je montaža dijela pothodnika, a na 6.6 skica montažnog načina gradnje pomoću derik kрана.

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.



Slika 6.6: Postavljanje dijela pothodnika



Slika 6.7: Montažni način gradnje uz pomoć derik kрана

6.5 GRAĐENJE LUKOVA I RASPONSKE KONSTRUKCIJE

6.5.1 Općenito

Rasponske konstrukcije masivnih mostova se mogu izrađivati na četiri osnovna načina:

- betoniranje dugih odsječaka na mjestu gradnje,
- betoniranje kratkih odsječaka na mjestu gradnje,
- postavljanje prefabriciranih dugih elemenata,

- postavljanje prefabriciranih kratkih elemenata.

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.

6.5.2 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 projektanata 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.

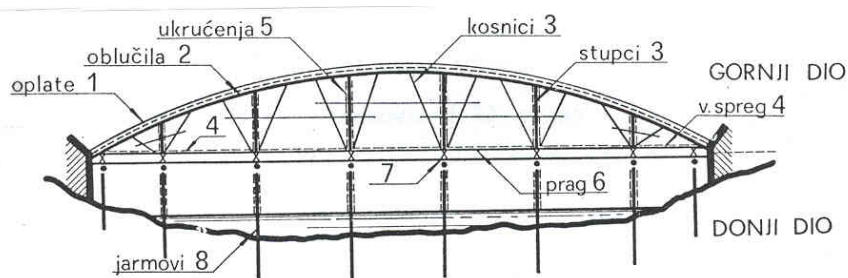
Čelične skele su pogodne kod mostova koji imaju više jednakih otvora ili ako moramo izgraditi više jednakih mostova, dakle u svim slučajevima kad ih možemo iskoristiti više puta bez većih izmjena. Kod manjih mostova kao skela i oplata mogu se koristiti standardne montažne oplata koje se koriste u visokogradnji.

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

6.5.3 Dijelovi skele

Skela predstavlja jednu prostornu rešetkastu konstrukciju koja prima opterećenja od konstrukcije i prenosi ih na tlo. U principu se smatra da sve sile konstrukcije, sve do trenutka otpuštanja skele, prenosi sama skela, i na takve sile je potrebno dimenzionirati skelu.

Skele obično dijelimo na gornji i donji dio. Gornji dio predstavljaju svi dijelovi koji se nalaze iznad otpusnih naprava, koje služe da se cijela skela može spustiti za određenu visinu te tako osloboditi konstrukciju. Gornji dio skele sačinjavaju:



Slika 6.8: Primjer potpune drvene skele s oznakama njenih dijelova

Oplata ili kalup (1) je dio na kojem se ugrađuje beton (ili zida konstrukcija kod zidanih mostova)

Oblučila (2) su nosači na kojima leži oplata. Oni slijede liniju mosta, odnosno liniju donjeg ruba glavnih nosača ili luka/svoda.

Kosnici i stupovi (3) su štapovi preko kojih se opterećenje s oblučila prenosi na donje čvorove skele, tj. na oslonce skele.

Vjetrovni spregovi (4) su nosači koji osiguravaju horizontalnu stabilnost skele tj. osiguravaju stabilnost skele kao prostorne cjeline.

Ukrućenja skele i štapova skele (5) je sekundarna konstrukcija koja služi za smanjenje dužine izvijanja (stabilizaciju) kosnika i stupova, kao i ostalih dijelova skele.

Pragovi (6) su podnožni dijelovi gornjeg kata skele, odnosno donji pojasevi sustava vezača.

Donji dio skele sačinjavaju svi dijelovi ispod otpusnih naprava (otpuštaljki). U mnogim slučajevima donji dio se izvodi na potpuno istovjetan način kako se izvodi donji ustroj drvenih mostova. U donji dio skele spadaju:

Otpusne naprave ili otpuštaljke (7) su ulošci između gornjeg i donjeg dijela skele kojima možemo mijenjati visinu i na taj način podići skelu da bi postigli traženu visinu konstrukcije, tj. spustiti skelu kada je potrebno konstrukciju osloboditi.

Stupovi skele (8) su obično drveni jarmovi ili složena stupašta, a mogu se sastojati od pilota ili šipova skele, kliješta ili križeva za stabilizaciju te temelja skele koji su obično od betona.

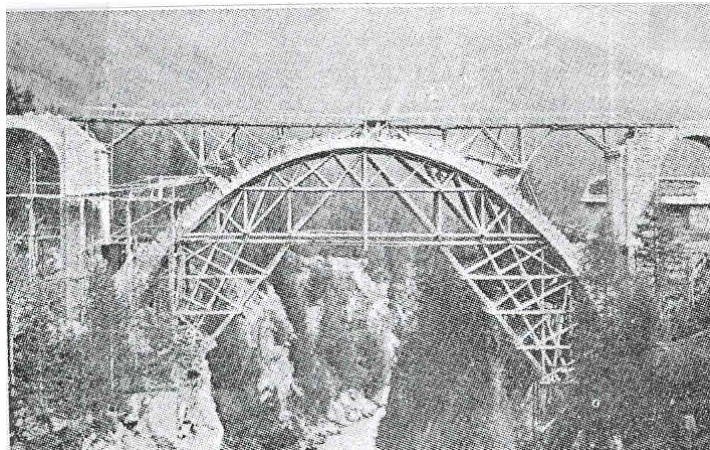
6.5.4 Tipovi skela

Drvene i metalne skele izvode 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.

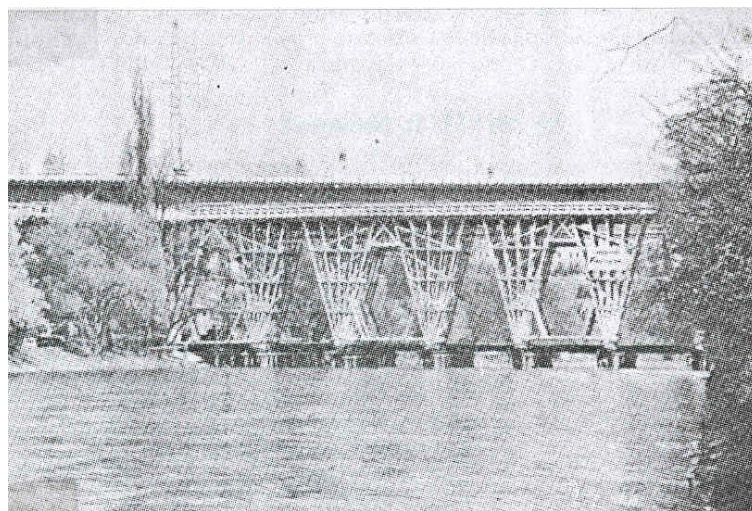
Općenito, prema broju otvora nepokretne skele možemo podijeliti na dva tipa:

- Skele na dva oslonca (slobodne skele) - koje je općenito teže izraditi i montirati (često je potrebna pomoćna skela 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.

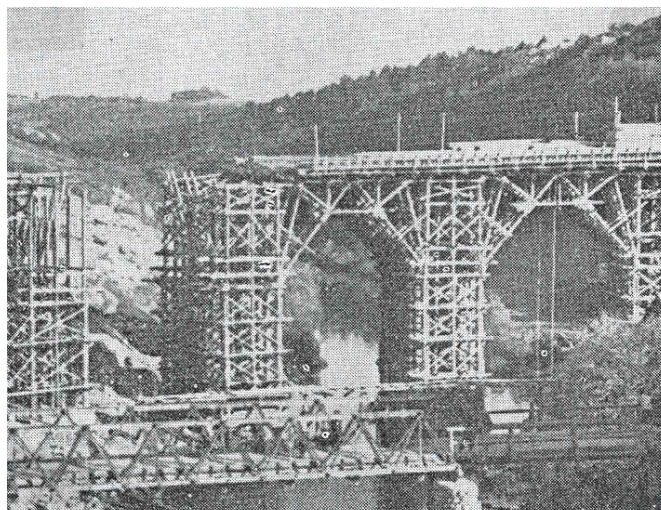
Skele na više oslonaca također zahtijevaju i plitke uvale i dobro tlo za temeljenje duž cijelog poteza mosta.



Slika 6.9: Primjer skele na dva oslonca: skela mosta preko rijeke Inn, Cinuskel, Švicarska (1911 god.), raspon luka 47 m, visina uvale 50 m



Slika 6.10: Primjer skele na više oslonaca za neki gredni sklop



Slika 6.11: Primjer skele na više oslonaca - skela mosta preko Korane u Slunju

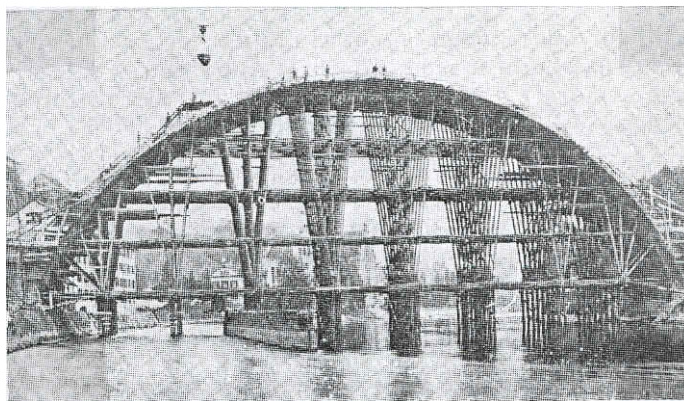
Prema obliku, skele možemo podijeliti na niz tipova, kao što su na primjer: radijalne skele, lepezaste skele, skele na stupcima i sl. Također postoje i mješoviti tipovi.

Prema materijalu izrade, skele dijelimo na čelične, drvene te kombinirane skele. U zadnje vrijeme sve češće su u upotrebi i aluminijske skele.

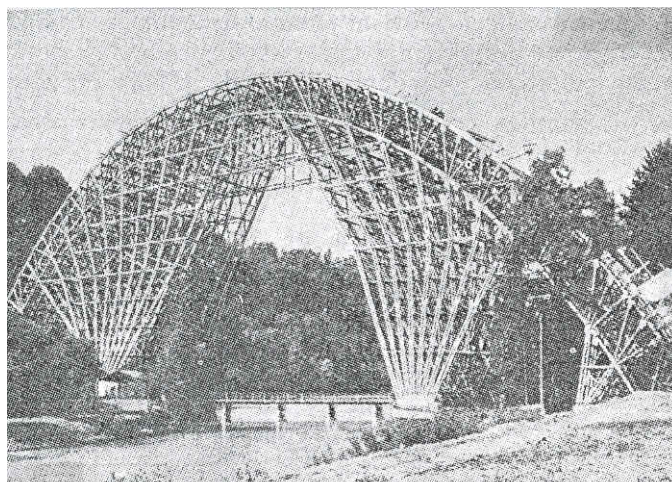
U nastavku će biti prikazane neke skele te kratko komentirane njihove karakteristike.

6.5.4.1 Drvene skele

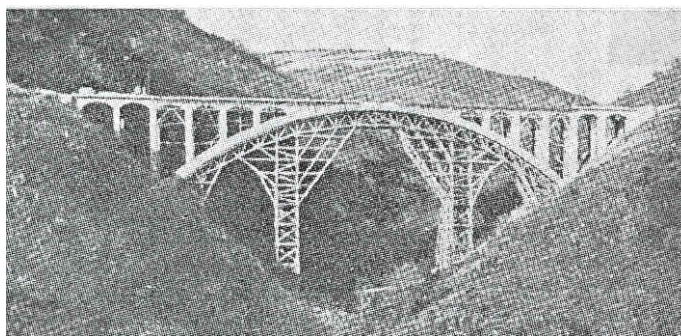
Na slikama 6.11-6.19 prikazane su neke tipične drvene skele mostova građenih krajem 19. i početkom 20. stoljeća.



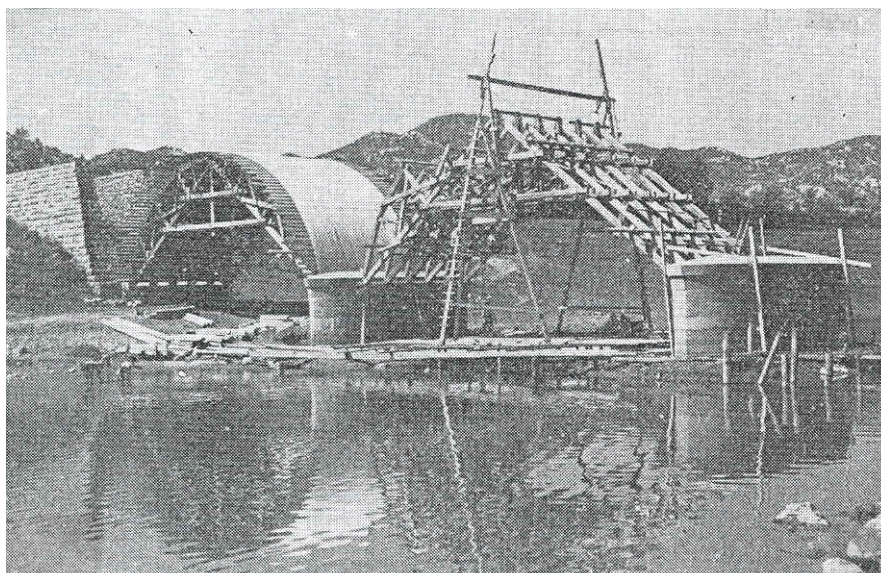
*Slika 6.12: Skela mosta na rijeci Limmat u Badenu (Njemačka);
Raspon svoda 72 m, a visina 26 m.*



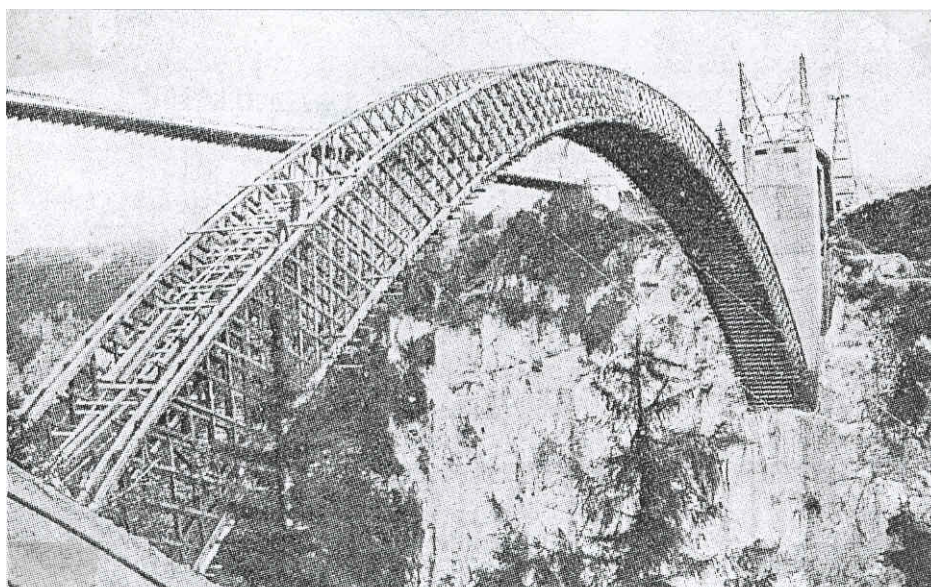
Slika 6.13: Kombinirana skela od lučnog dijela koji slijedi intrados i dviju lepezastih podupora. Pri donjem dijelu lepeze dodani su kosnici za osiguranje poprečne stabilnosti.



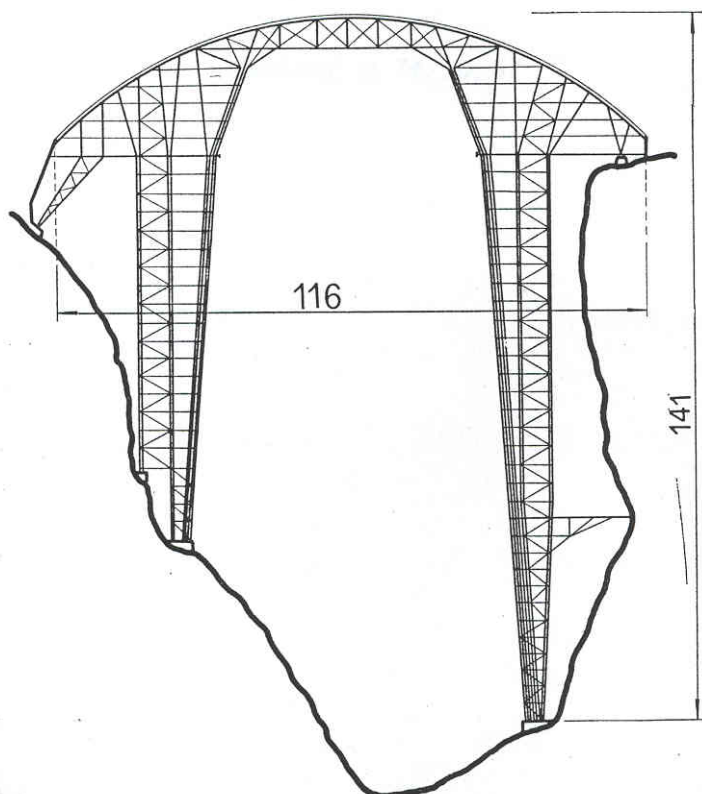
*Slika 6.14: Skela cestovnog mosta Bezergues, Tarn, Francuska;
luk raspona 82 m, a strelica 16 m*



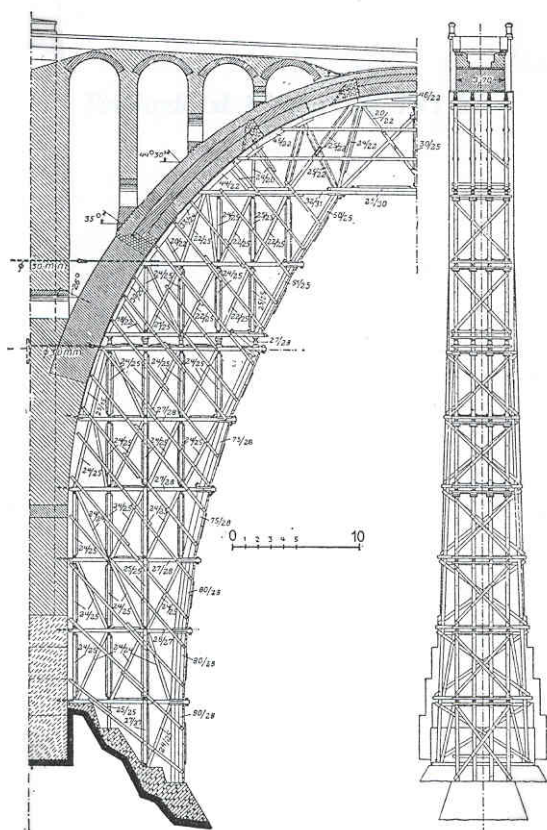
*Slika 6.15: Primjer slobodne razuporne skele za vrijeme njezine izgradnje
Most preko rijeke Like u Kosinju, Hrvatska*



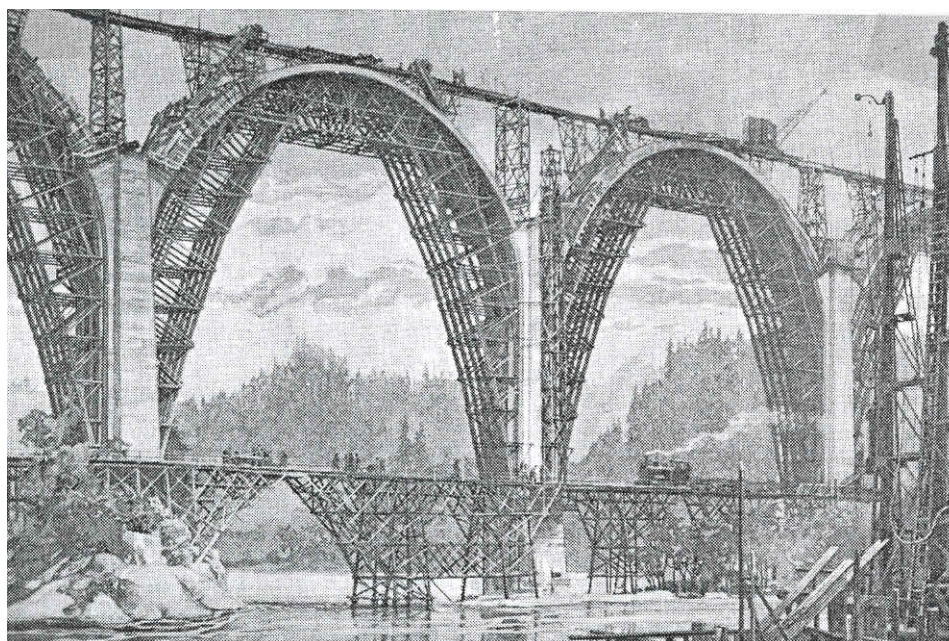
*Slika 6.16: Skela za svod mosta Pont de la Caile (1930.)
otvor svoda 137 m, raspon luka skele 125 m*



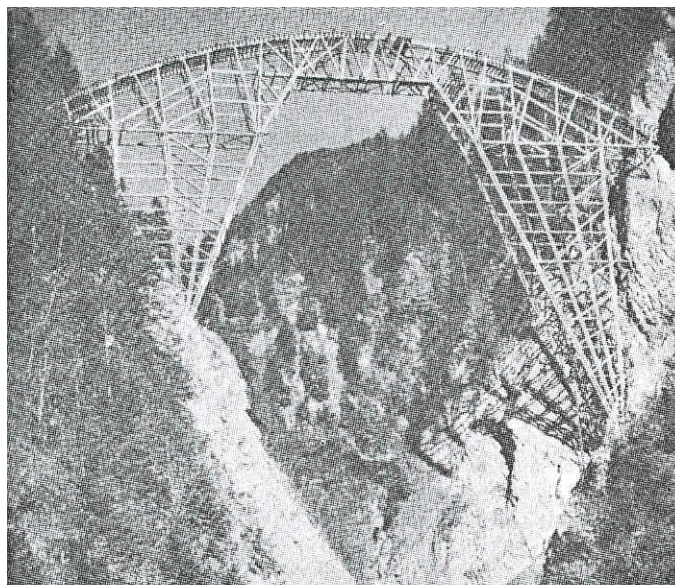
*Slika 6.17: Skela mosta na Tari, Crna Gora
projektant Trojanović, skela Coray*



Slika 6.18: Skela vijadukta Wiesener; primjer tzv. skele na katove

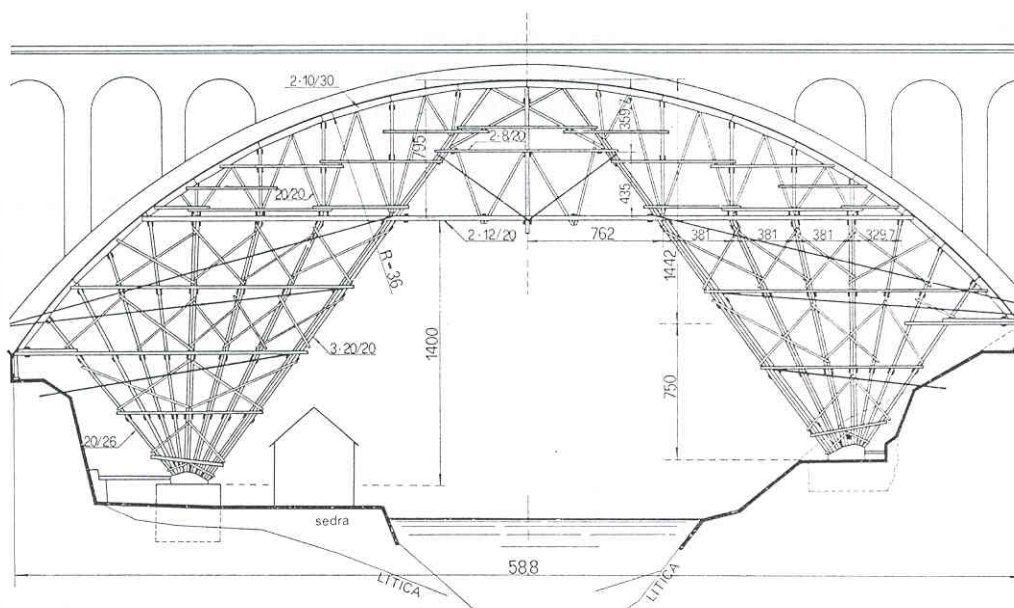


Slika 6.19: Most Perolles na rijeci Saane, Freiburg (1920.-1922.)

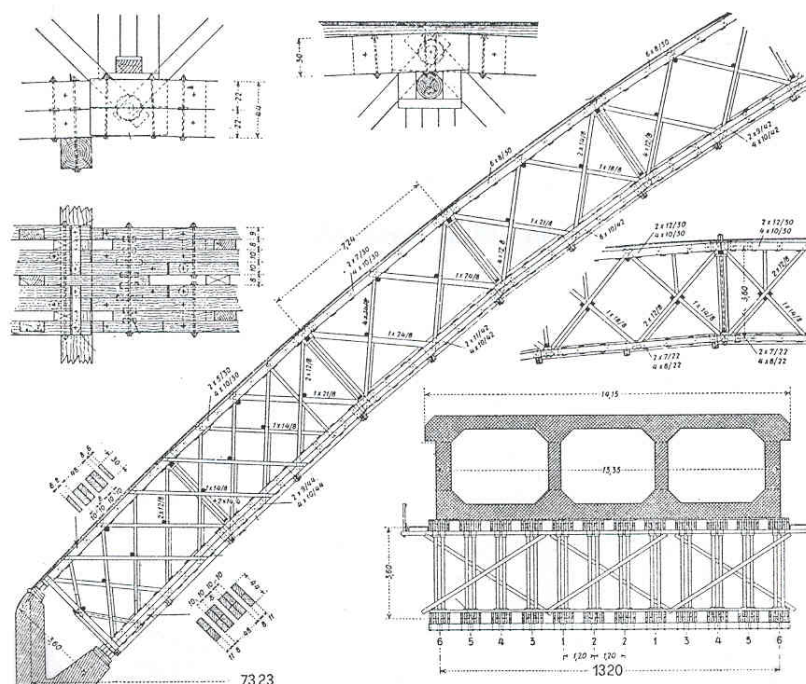


Slika 6.20: Pogled na skelu mosta Salginatobel

Na slikama 6.20 i 6.21 prikazani su neki projekti drvenih skela.



Slika 6.21: Projekt skele mosta preko rijeke Korane kod Plitvičkih jezera

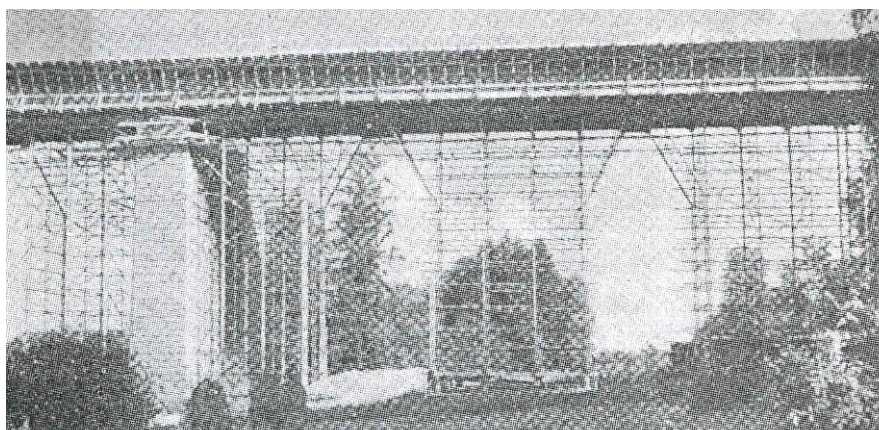


Slika 6.22: Detaljni crtež drvene lučne skele mosta Aare, Bern, Švicarska

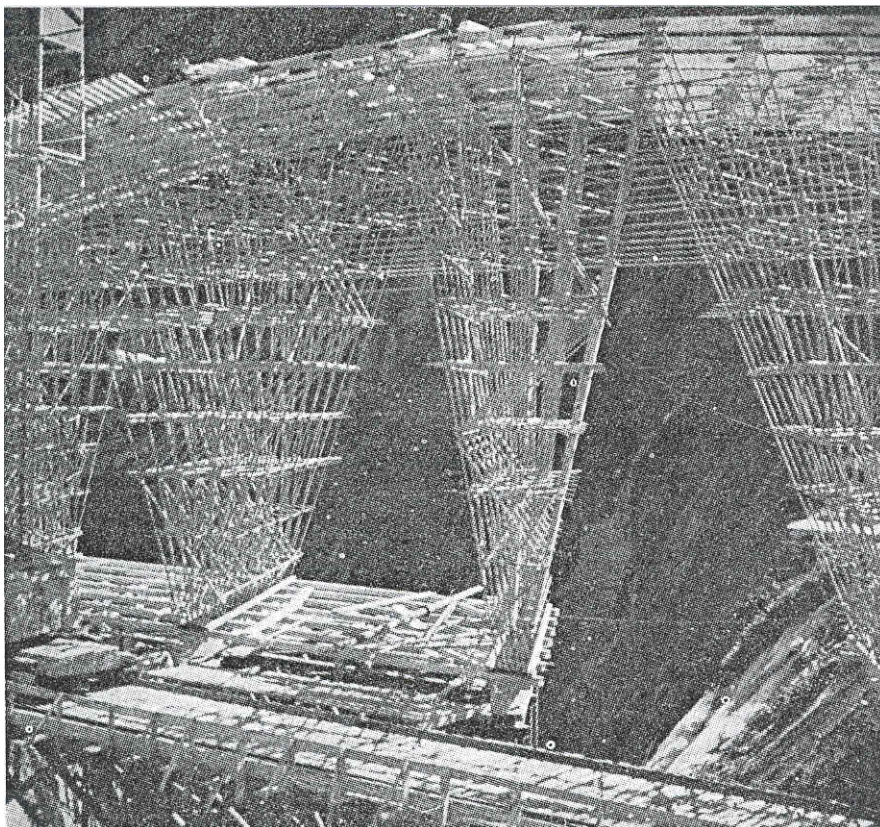
6.5.4.2 Čelične skele

Čelične skele su sredinom 20. stoljeća počele istiskivati drvene skele iz upotrebe, no način postavljanja i učvršćivanja skela ostao je manje-više nepromijenjen. Najčešće čelične skele su cijevne skele koje se lako montiraju i demontiraju te ih se može koristiti mnogo puta. Međutim, ovisno o zadatku kojeg moramo obaviti, čelična konstrukcija skele može biti i unikatna konstrukcija.

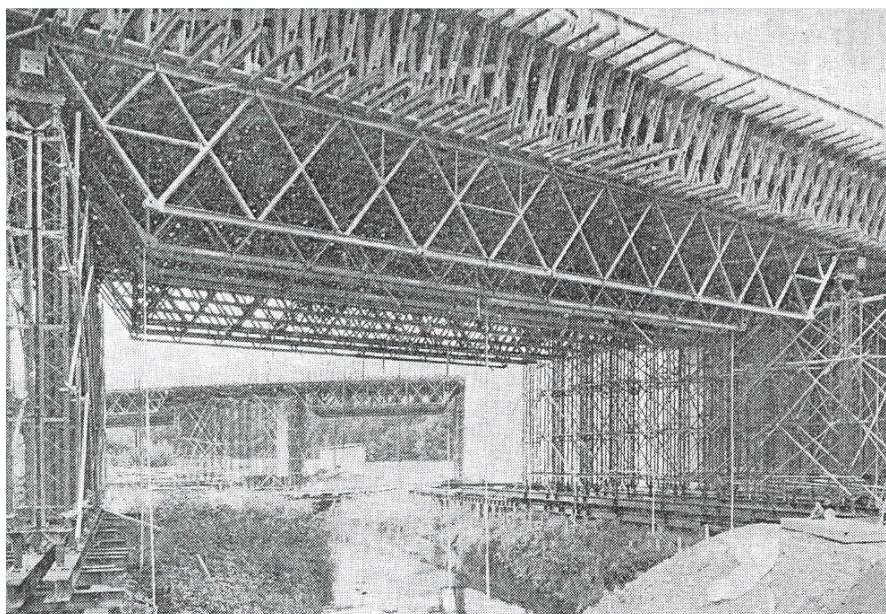
Na slikama 6.22-6.25 prikazane su neke čelične skele.



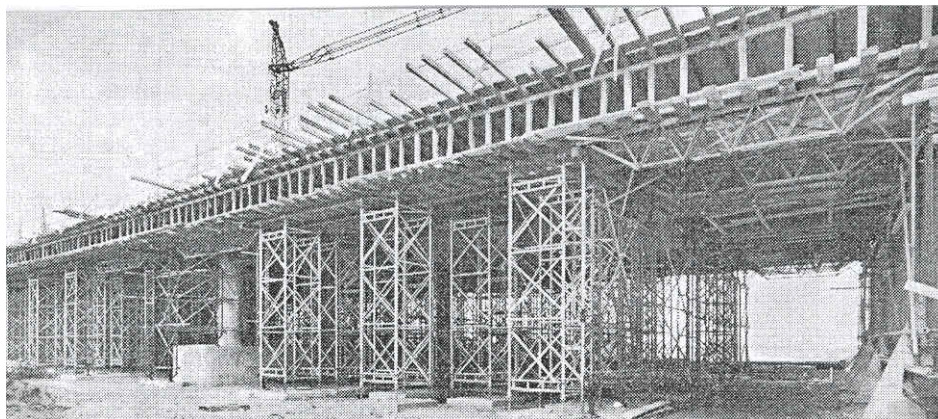
Slika 6.23: Primjer skele od čeličnih cijevi predviđene za gredni sklop



Slika 6.24: Primjer lepezaste skele od čeličnih cijevi



Slika 6.25: Primjer skele od standardnih rešetkastih čeličnih nosača

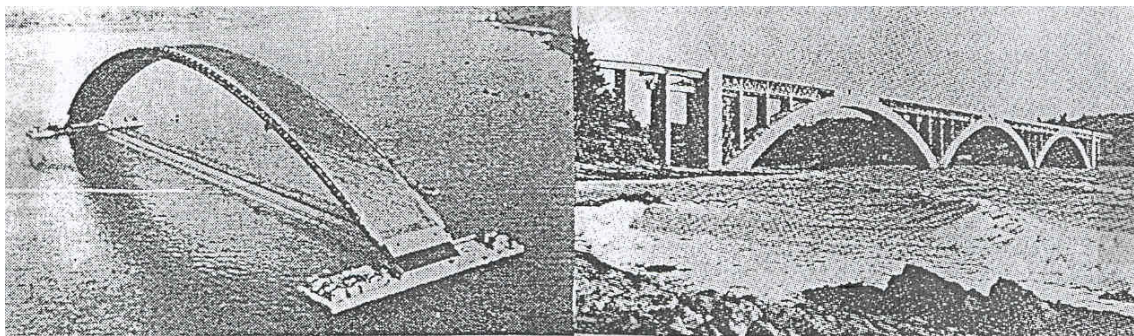


Slika 6.26 - Primjer čelične skele izgrađene od standardnih dijelova

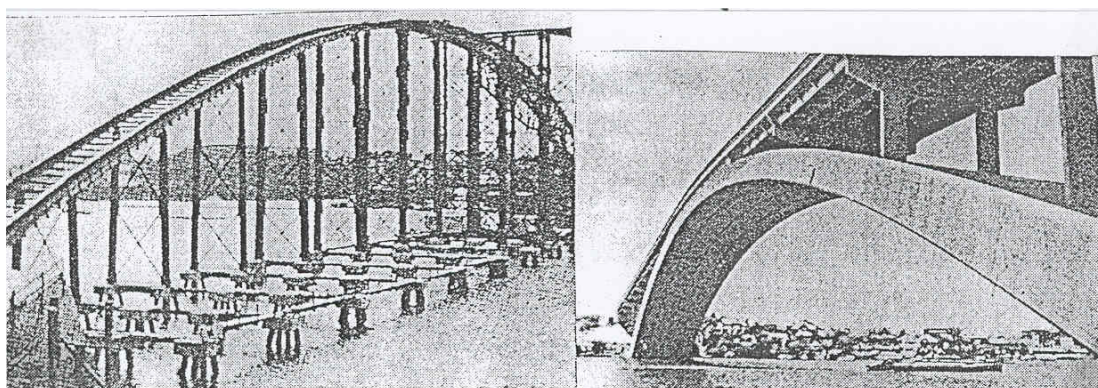
6.5.5 Izvedba mostova na pokretnim skelama

Pokretnim skelama nazivamo klasične nosive skele koje se bez rastavljanja mogu premještati uzduž i/ili poprijeko na most. Kod grednih mostova ovakve su skele pogodne ako je tlo ispod mosta ravno i dobro nosivo, ako most nije uzdignut visoko iznad tla i ako ima više polja.

I lučne skele se mogu premještati, kao što je npr. napravio Freyssinet na mostu Plougastel (vidi sliku 6.26). Sličan primjer je i most Gladesville u Australiji (slika 6.27)

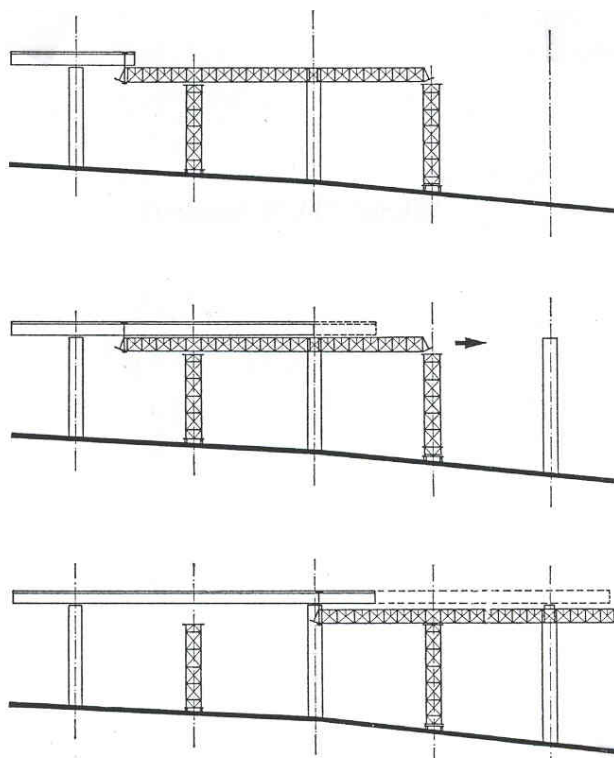


Slika 6.27: Premještanje drvene lučne skele na mostu Plougastel

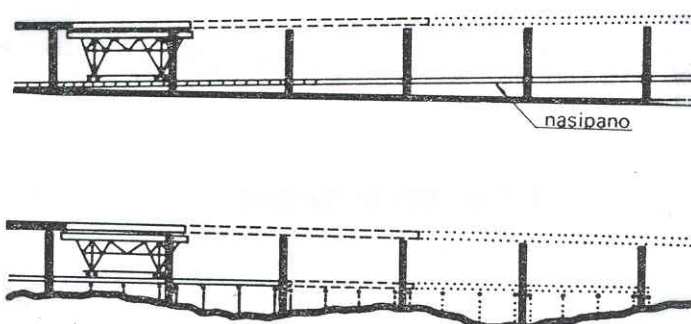


Slika 6.28: Primjer čelične skele za jedan prsten luka mosta Gladesville

Pokretne čelične skele, za betoniranje dugih odsječaka na licu mjesta mogu se koristiti i u modernim postupcima izgradnje. Na slikama 6.28 i 6.29 prikazani su primjeri za to.



Slika 6.29: Čelična rešetkasta skela za betoniranje dugih odsječaka na licu mjesta



Slika 6.30: Prikaz faza građenja pomoću pokretne skele

6.5.6 Izvedba mostova pomoću lansirnih skela

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

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 skela, ali se svi općenito zasnivaju na dva principa rada:

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

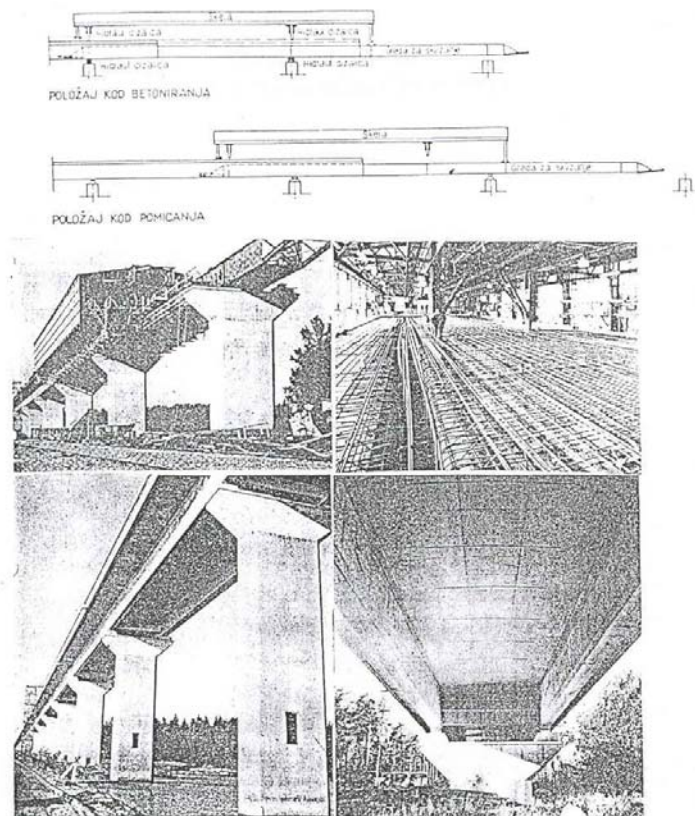
Na slikama 6.31 i 6.32 prikazana je skela koja se u naredno polje premješta u dijelovima (princip "šibera"). Ova skela se sastoji od:

- dva vanjska nosača sandučasta presjeka, dužine 50 m, i jednog srednjeg nosača, također sandučastog presjeka, dužine 98 m, koji služi i za premještanje skele,
- jednog okvira koji sprijeda povezuje vanjske nosače,

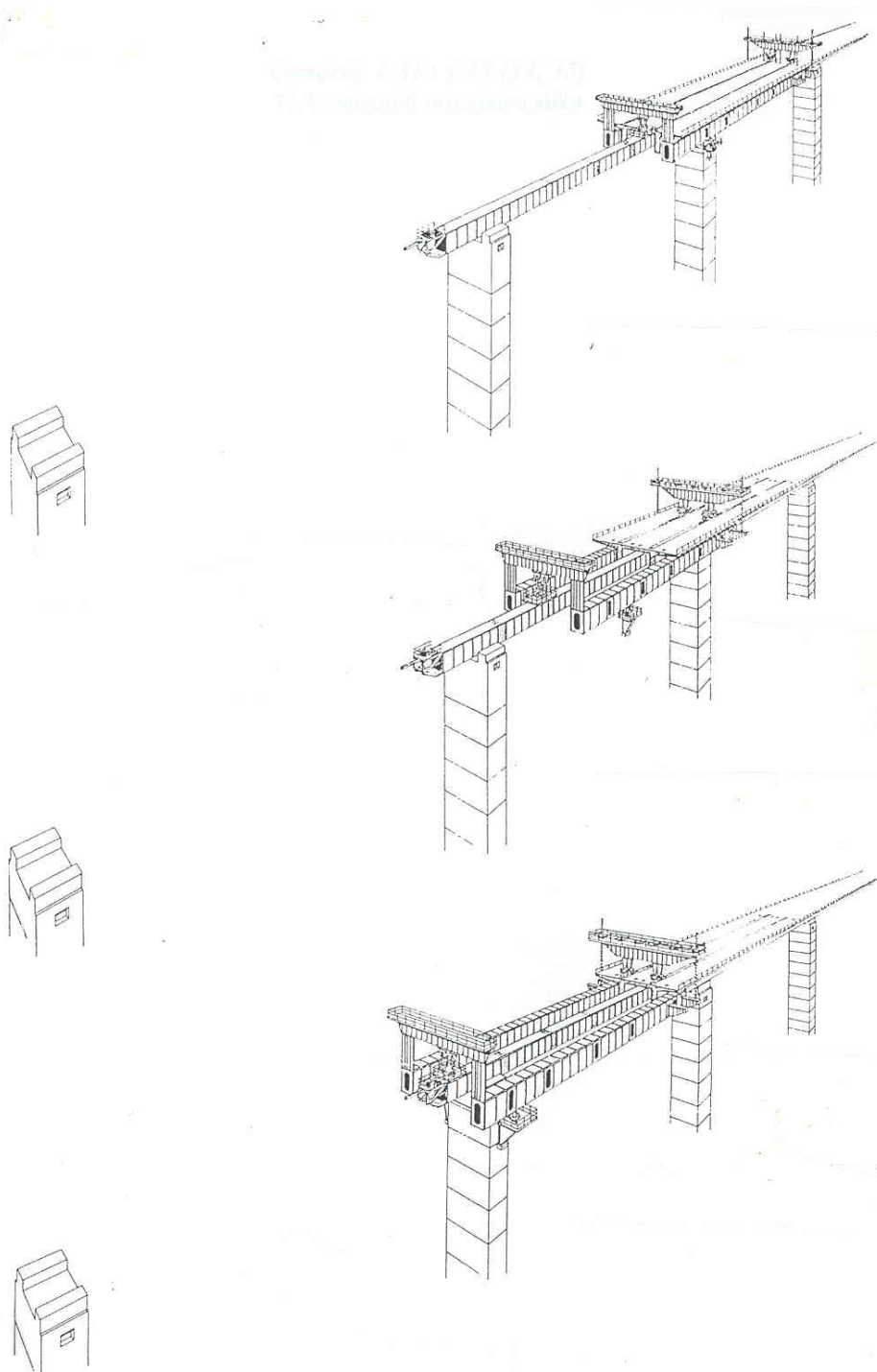
- prednjih kolica za prijevoz vanjskih nosača,
- stražnjih kolica kojima se prevoze vanjski nosači i koja preuzimaju ukupno opterećenje od sva tri nosača, skupa s betonom,
- dvije ležajne konzole, koje opterećenje od vanjskih nosača predaju na konzole.

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.

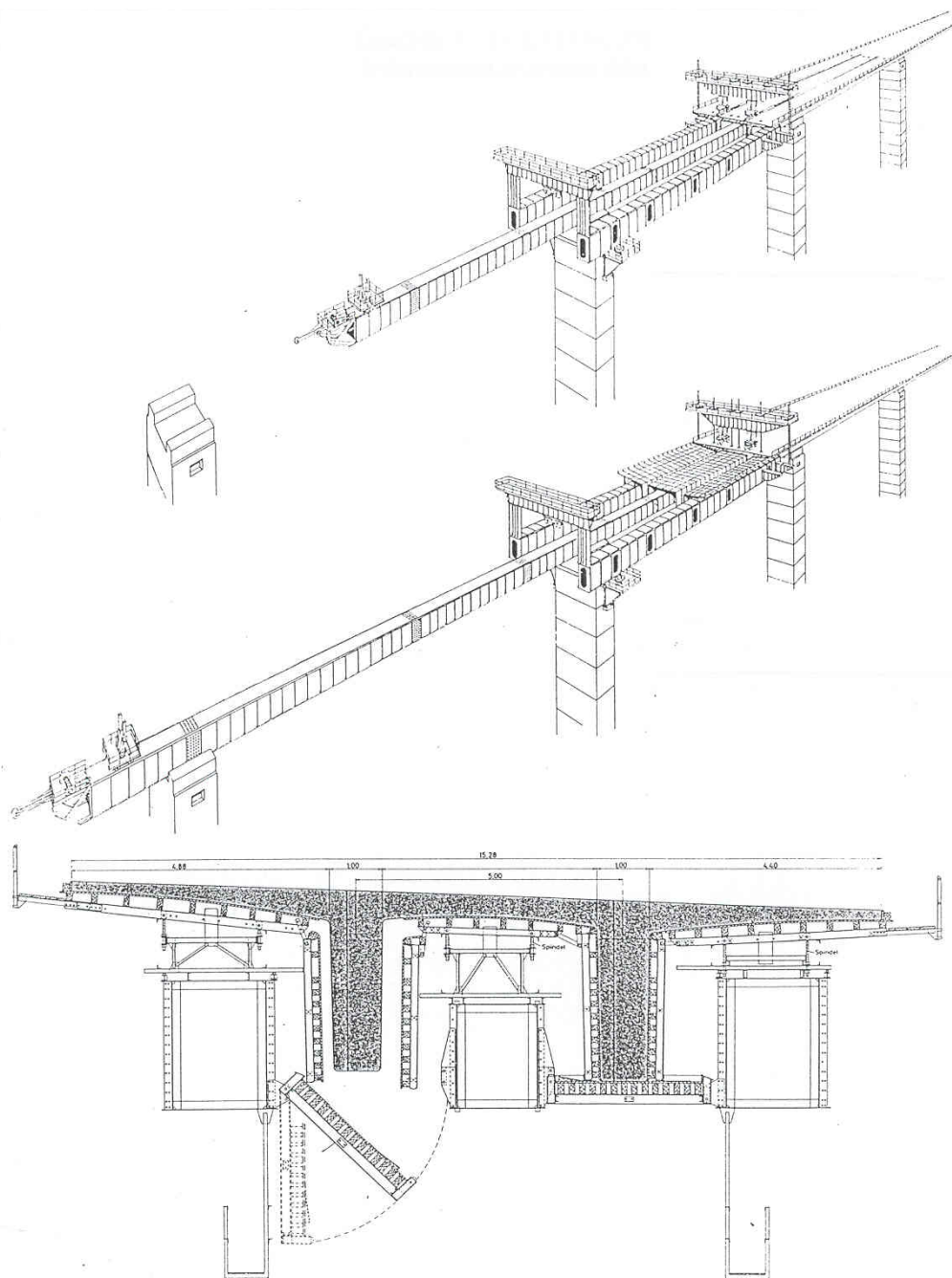
Na slici 6.30 prikazana je lansirna skela koja se u susjedno polje premješta odjednom. Prostor za izvedbu jednog polja je zatvoren, pa se radovi mogu izvoditi i po lošim vremenskim uvjetima.



Slika 6.31: Lansirna skela koja se premješta odjednom - most Öland



Slika 6.32: Lansirna skela koja se premješta po dijelovima - princip rada

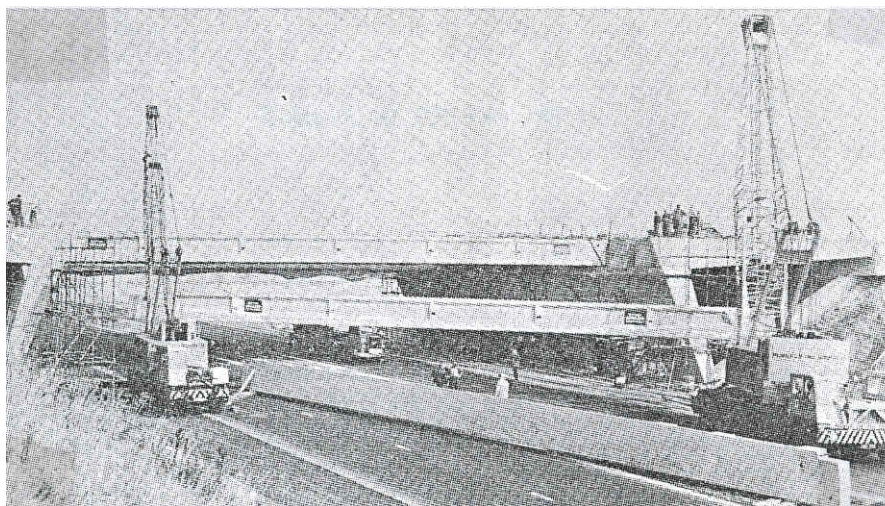


Slika 6.33: Lansirna skela koja se premješta po dijelovima - princip rada

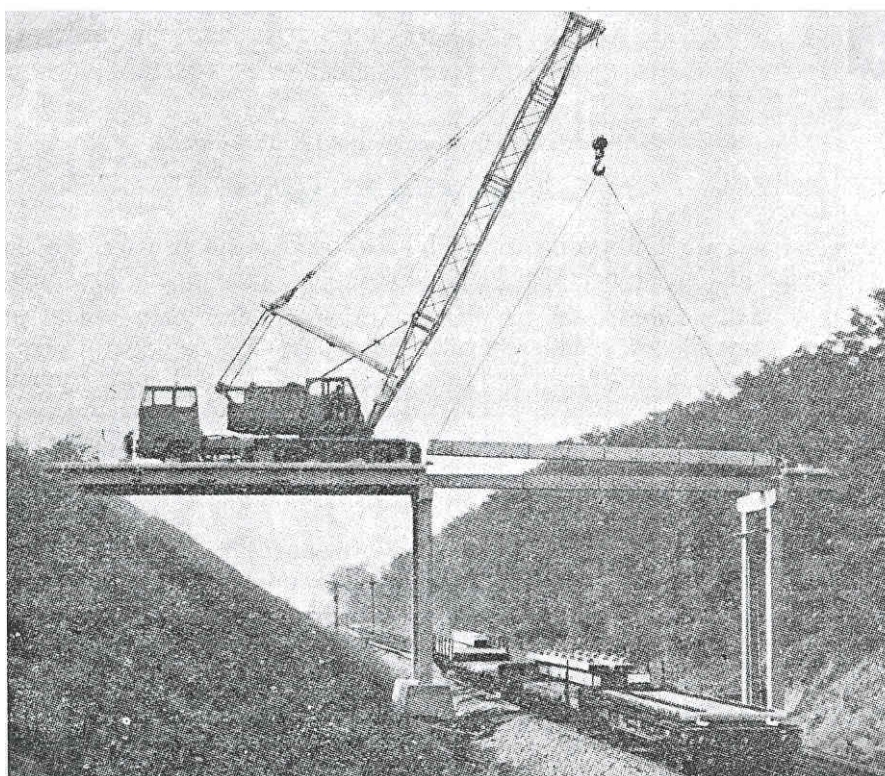
6.5.7 Izvedba mostova pomoću dizalica

Postavljanje polumontažnih i montažnih rasponskih nosača može se vrlo jednostavno izvesti raznim vrstama dizalica.

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 (vidi sliku 6.33). 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.



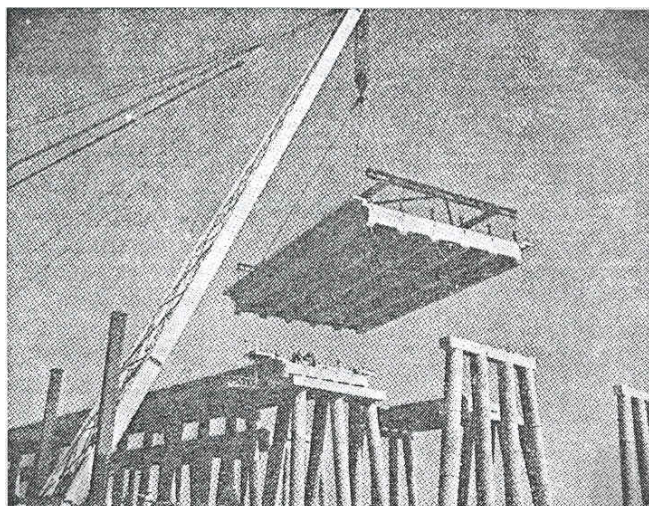
Slika 6.34: Postavljanje montažnih nosača nekog grednog nadvožnjaka uz pomoć dviju auto dizalica



Slika 6.35: Prikaz postavljanja montažnih nosača s pomoću dizalice koja se kreće po mostu. Rasponi mosta oko 13 m

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 (slika 6.34).

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 (slika 6.35).



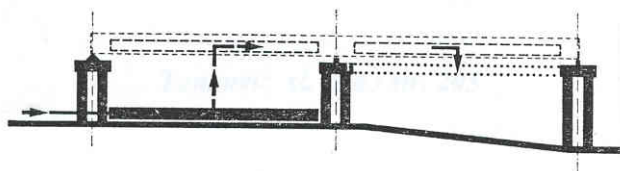
Slika 6.36: Postavljenje gotovih rasponskih dijelova na stupove koji su prije dovršeni. Rad pomoću plovne dizalice velike nosivosti.

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).

6.5.8 Izvedba mostova pomoću lansirnih prenosila

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.

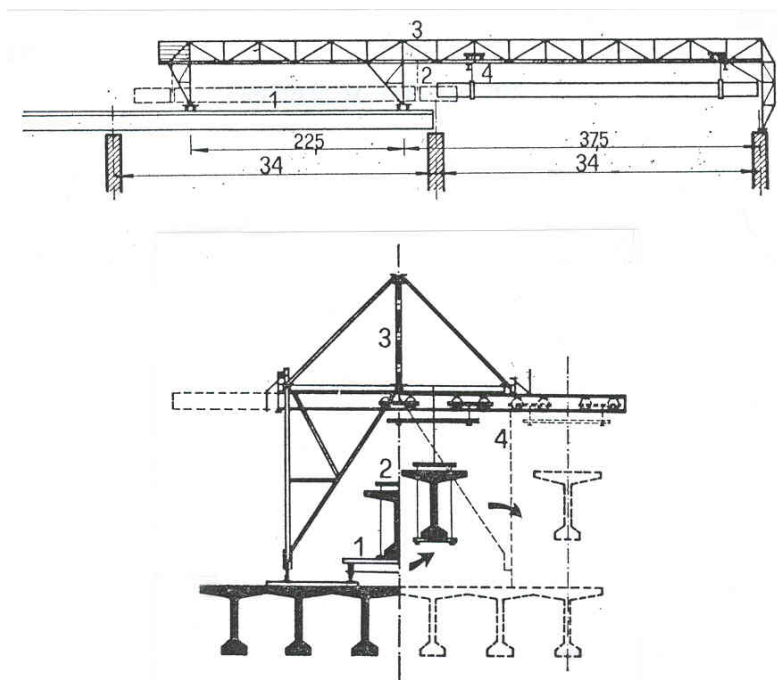
Lansirke su najčešće rešetkaste konstrukcije, ukupne dužine veće od dva polja mosta. Na njima se nalaze električna vitla pomoću kojih se element pomiče uzduž lansirke. Princip rada jednog lansirnog prenosila skiciran je na slici 6.36. Kod ovog prenosila između dva stupa je ostavljena šupljina kroz koju se podiže montažni dio, koji se zatim prenosi uzduž prenosila i montira u konačni položaj.



Slika 6.37: Princip rada lansirnog prenosila.

Na slici 6.37 prikazan je sličan uređaj, koji prima dio dopremljen po gotovom dijelu konstrukcije. Dio se 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.

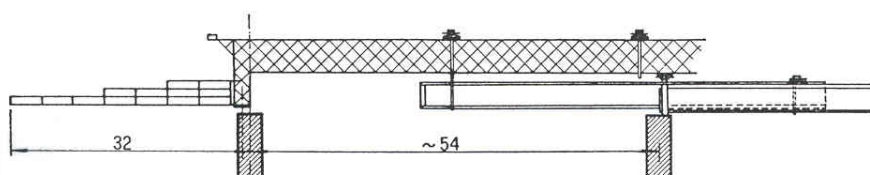
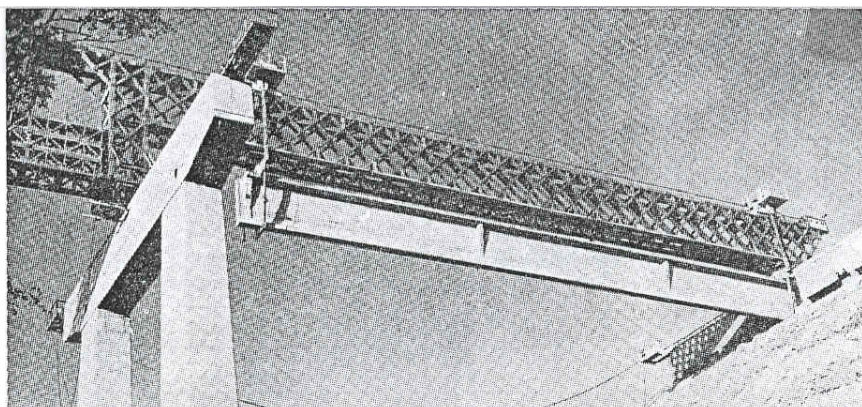
Ovakav sustav prenosila danas se smatra najsuvremenijim i postoje prenosila koja mogu prenijeti nosače mase i do 400 t. Na ovaj način su montirani rasponski nosači Krčkog mosta, Masleničkog mosta i novog Čapljinskog mosta.



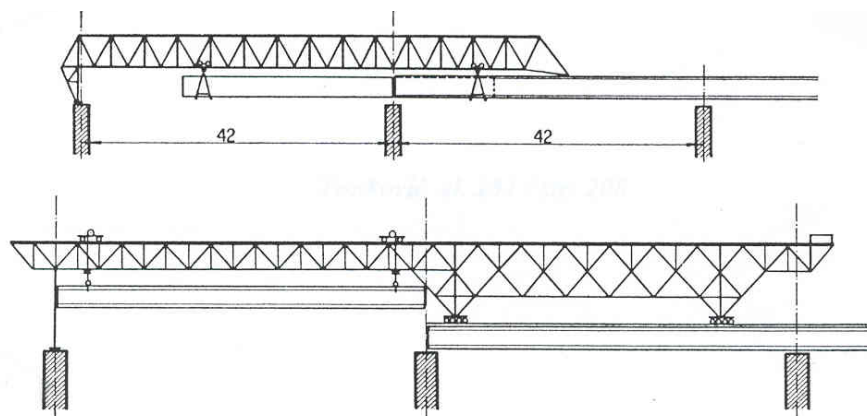
Slika 6.38: Prikaz rada nekog lansirnog prenosila

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 premještati u poprečnom smjeru i sl.

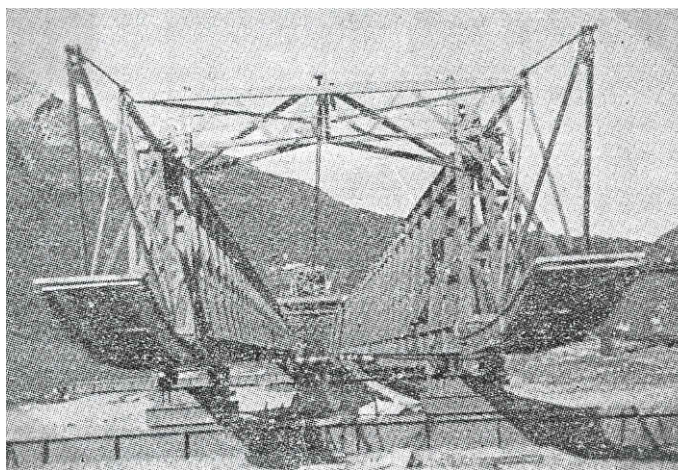
Na slikama 6.38 - 6.40 prikazani su još neki primjeri rada lansirnih prenosila za montažu potpunih rasponskih nosača.



Slika 6.39: Postavljanje montažnih dijelova rasponskog sklopa pomoću posebnog prenosila, uz poprečno razmještanje dijelova na njihova mjesta



Slika 6.40: Neke lansirne rešetke u pogledu sa strane

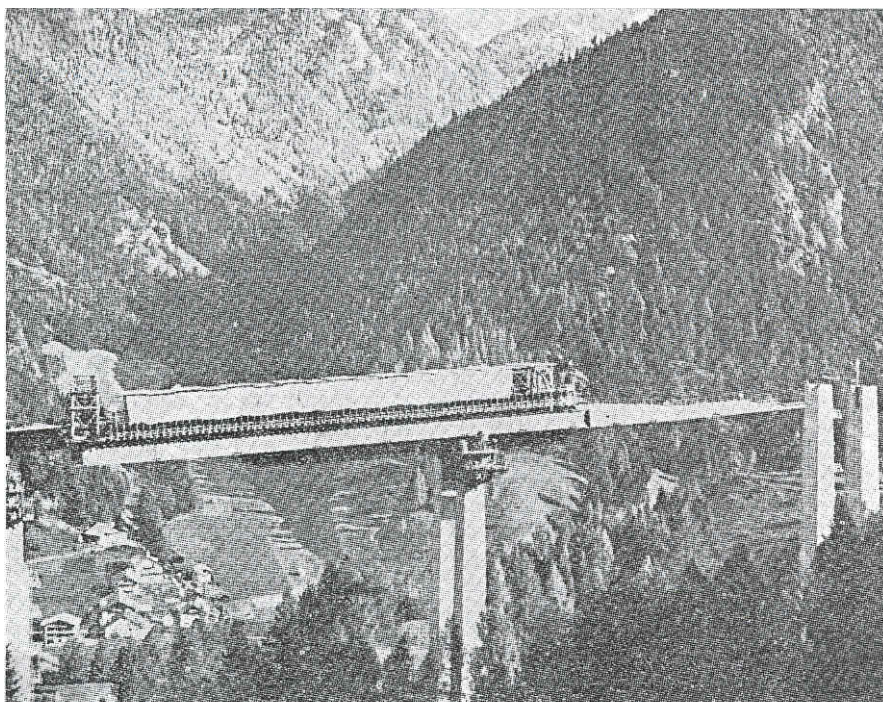


Slika 6.41: Još neke lansirne rešetke

6.5.9 Izvedba mostova 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.

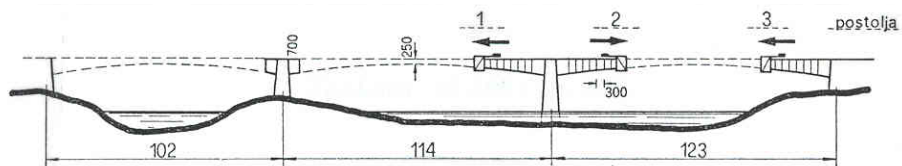
Kod konzolnog načina gradnje izrazito dugih vijadukata razvile su se i specijalne radionice koje napreduju po vrhovima stupova i izrađuju dio po dio, ili cjelovitu rasponsku konstrukciju između stupova. Takve pokretne radionice mogu biti zatvorene, tako da je rad neovisan o vremenskim prilikama. Jedan takav uređaj prikazan je na slici 6.41.



Slika 6.42: Pokretni uređaj tipa Maurer u radu. Rasponi mosta do 65 m.

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 6.42 na primjeru mosta u Koblenzu.

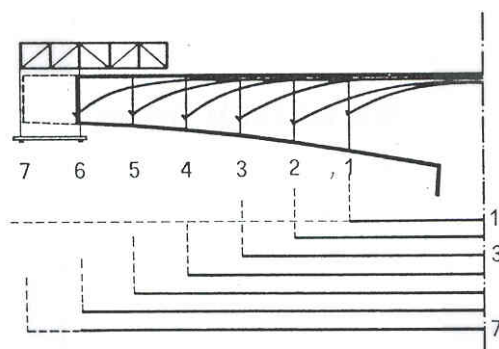


Slika 6.43: Balansni postupak gradnje - primjer most u Koblenzu

6.5.9.1 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.

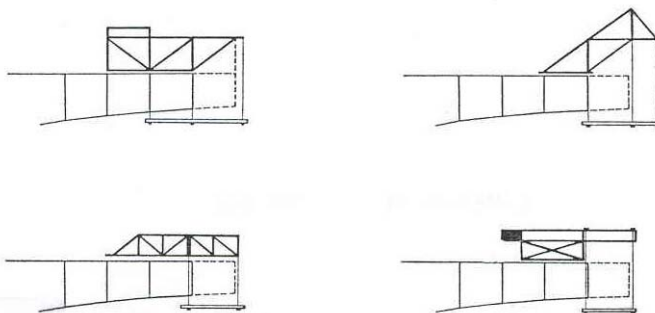
Dakle, radovi teku sljedećim slijedom. Na vrh stupa se postavi skela i oplata za jedan kraći sektor, taj sektor se betonira i pritegne prednapetim kablovima. Na taj ležajni sektor nastavljaju se, konzolno s obje strane stupa kratka postolja u kojima se postupak ponavlja s određenom oplatom. Konzolni sektori vežu se međusobno mekom armaturom i prednapetim kablovima, a eventualno lijepljenjem epoksidnim malterima (slika 6.43).



Slika 6.44 - Prikaz nastajanja konzolnog sklopa

Građenje će biti jednostavno ako ja poprečni presjek konstrukcije jednak duž čitavog mosta. Međutim, moderni postupci konzolnog građenja tako su prilagođeni da i promjenjivi presjeci ne predstavljaju veliki problem.

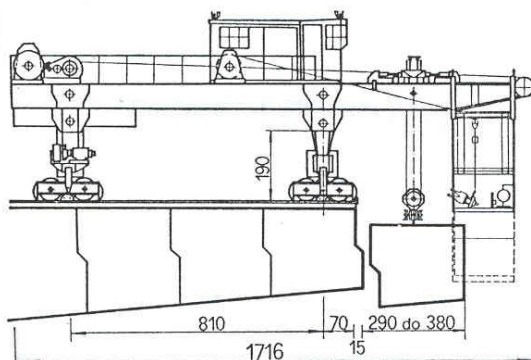
Neki shematski primjeri skela i oplata za konzolno građenje betoniranjem na licu mjesta prikazani su na slici 6.44.



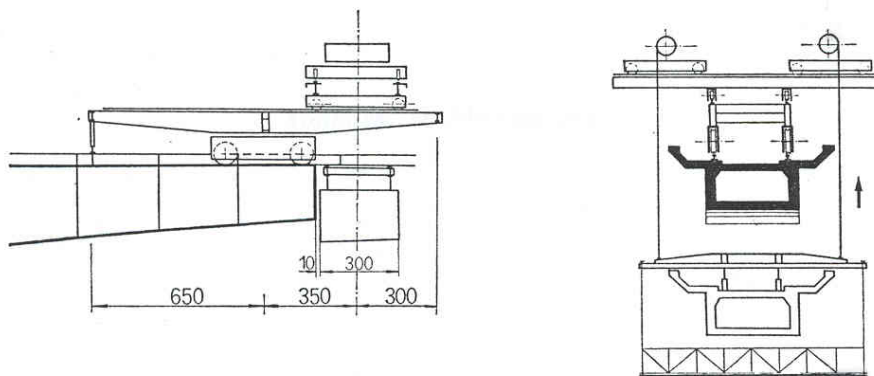
Slika 6.45 - Shematski prikaz konstrukcija pokretnih postolja za konzolno građenje

6.5.9.2 Montiranje konzolnih sektora

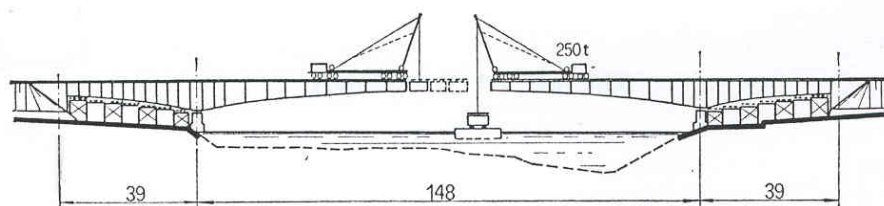
Pojedini dijelovi rasponskog sklopa ili luka mogu se izraditi izvan mosta te konzolno ugraditi na svoja mjesta u mostu. Veza takvih komada obično se vrši potpunim unutarnjim ili vanjskim prednaprezanjem. Na slikama 6.45 - 6.49 prikazani su neki konzolni postupci.



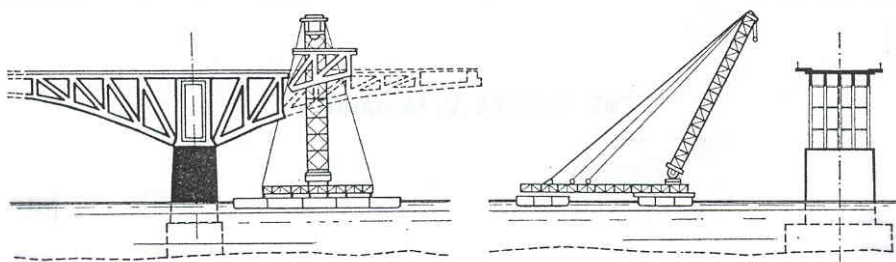
Slika 6.46 - Montažni uređaj sa gradnje mosta na rijeci Don u Rostovu



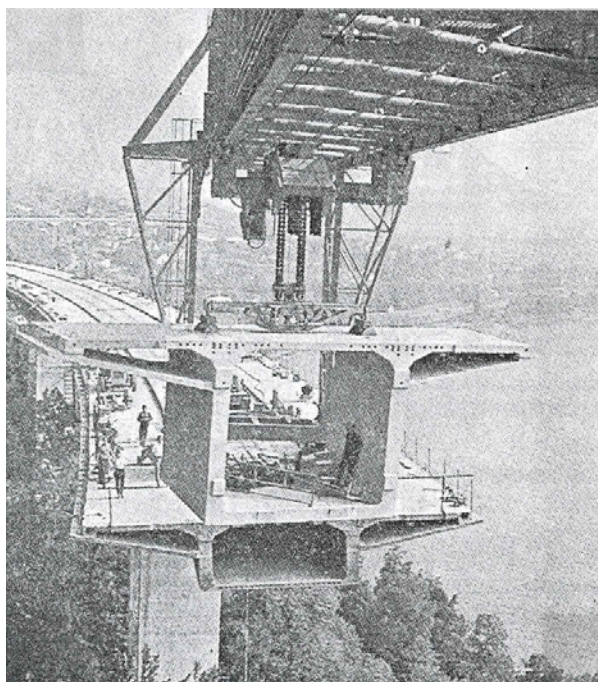
Slika 6.47 - Jedan primjer izgradnje montiranjem konzolnog sklopa uz pomoć potrebnog uređaja



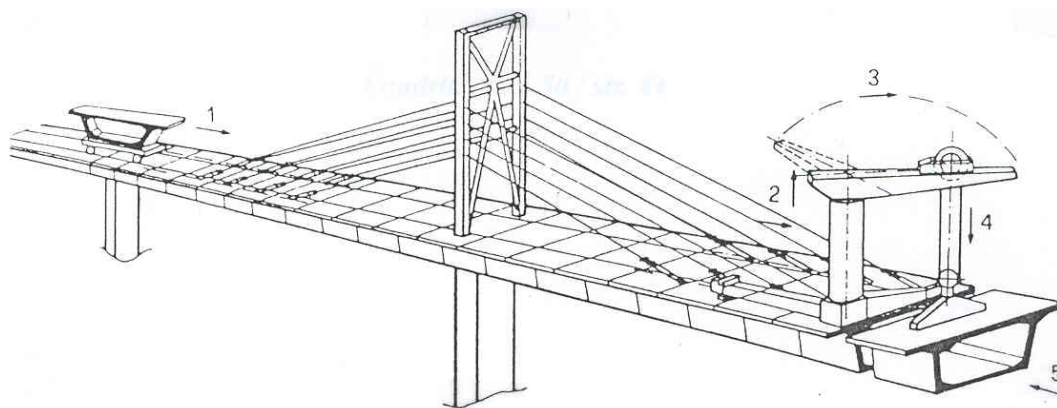
Slika 6.48 - Postavljanje konzolnog sklopa uz pomoć derrick dizalice



Slika 6.49 - Prikaz montiranja rešetkastog konzolnog sklopa uz pomoć plovne dizalice



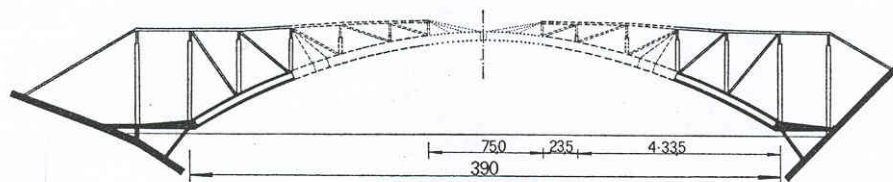
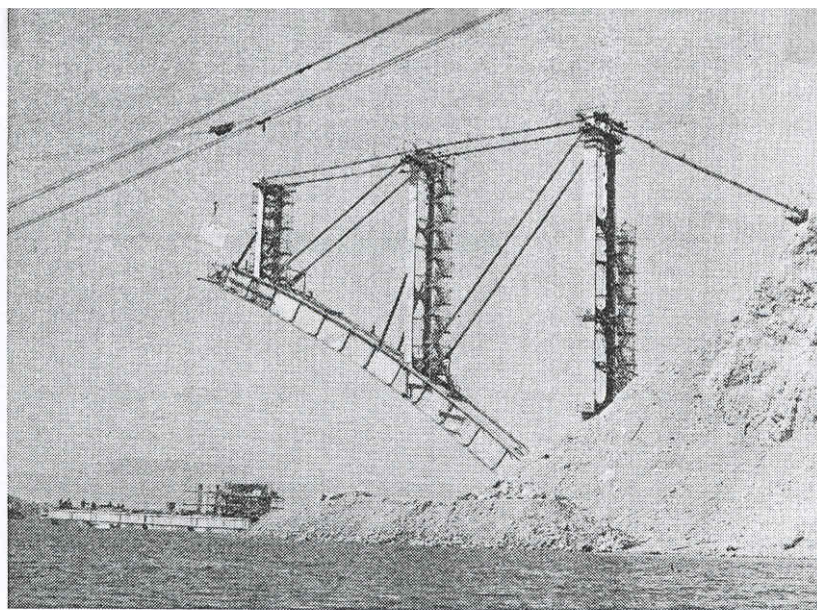
Slika 6.50 - Prikaz postavljanja montažnih komada pomoću posebnog prenosila



Slika 6.52 - Konzolni postupak s kosim zategama preko pomoćnog stupa

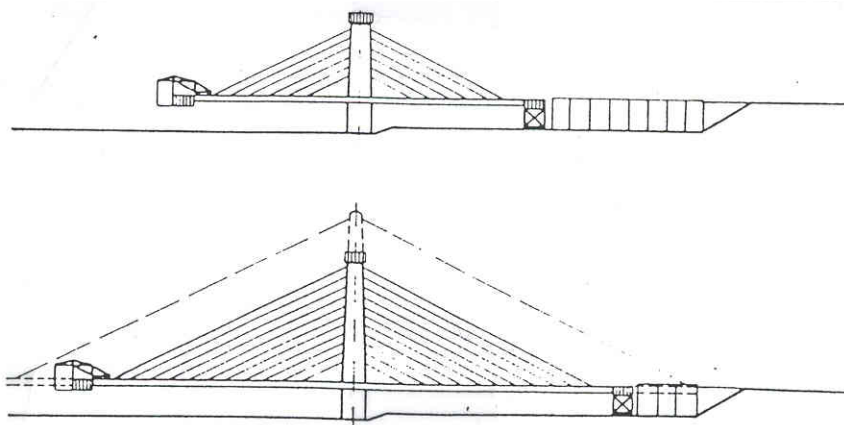
Pridržavanje sustava također se može vršiti obrazovanjem privremene rešetke. Ovaj postupak vuče porijeklo iz građenja čeličnih mostova, a primjenjuje se za izgradnju lučnih mostova najvećih raspona. Kod nas se koristio pri izgradnji Krčkog mosta (slika 6.52).

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.



Slika 6.53 - Konzolni postupak s obrazovanjem privremene rešetke na Krčkom mostu

Konzolni sustav se dominantno primjenjuje za gradnju visećih i ovješanih mostova. Pri gradnji se izvedeni konzolni sektori direktno pridržavaju kosim užadima ili vješaljka.



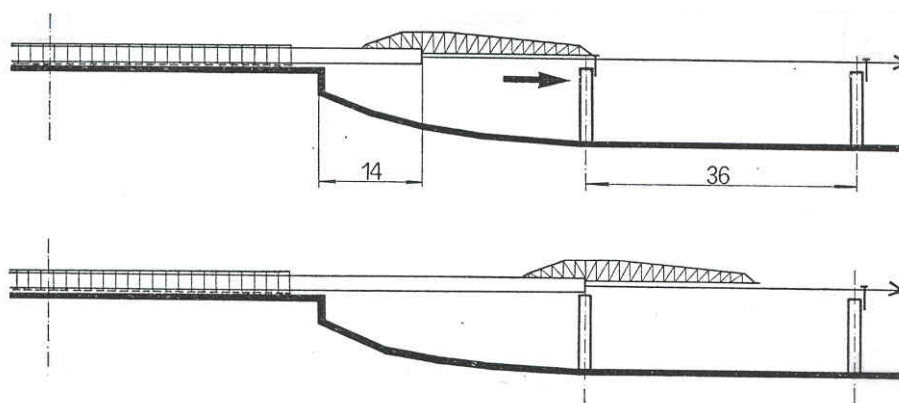
Slika 6.54 – Izvedba ovješanog mosta balansnim (konzolnim) postupkom i usporedno podizanje pilona

6.5.10 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. Takav je postupak uveden pri građenju drvenih i čeličnih konstrukcija, a jednako se uspješno primjenjuje i za masivne (betonske) mostove.

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. Ovi sustavi, dakako iako tehnološki različiti, praktično predstavljaju istu stvar.

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 (slika 6.54).

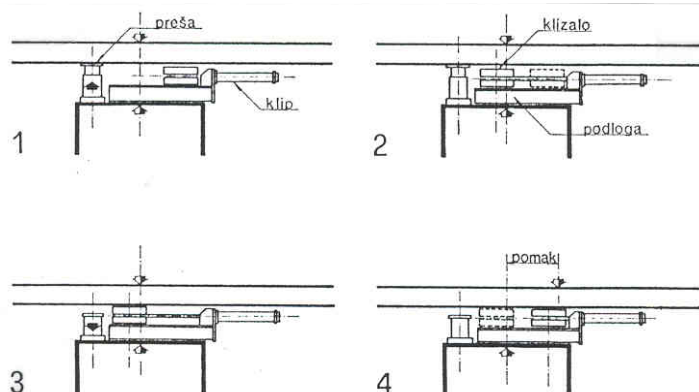


Slika 6.55 – Navlačenje gredne konstrukcije vučenjem, uz pomoć čeličnog kljuna

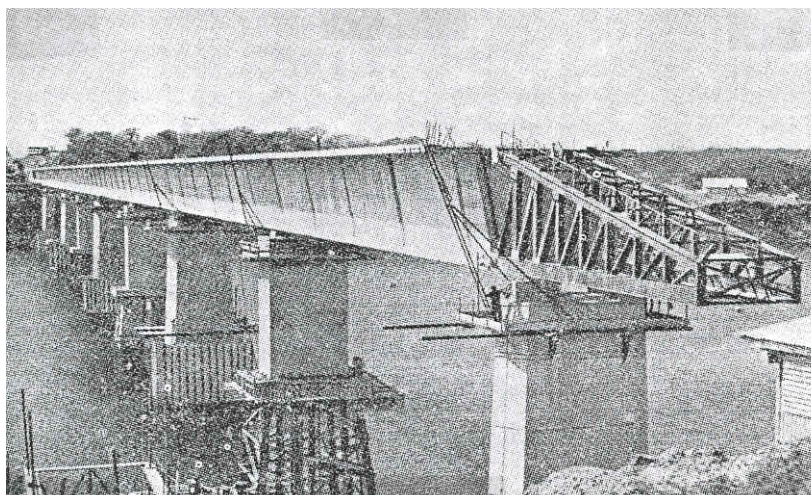
Sljedeći odsječak betonira se izravno na stražnje čelo prethodnog, a armatura prolazi kroz radnu rešku. Postupak se ponavlja po taktovima, koji u pravilu traju tjedan dana. Kad je konstrukcija u konačnom položaju prednapinju se kabeli za uporabno opterećenje. Kontinuitet odsječaka se postiže mekanom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

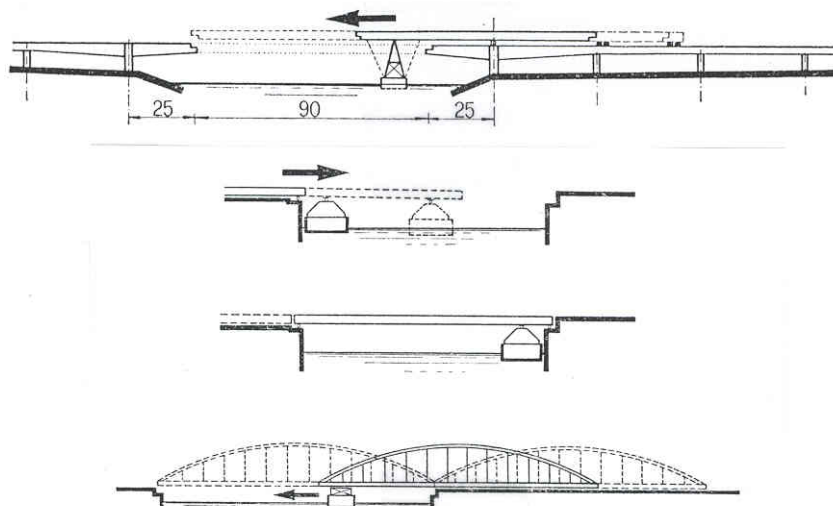


Slika 6.56 – Prikaz uređaja za pomicanje rasponskog sklopa smještenog na jednom stupu



*Slika 6.57 – Uzdužno navlačenje rasponske konstrukcije na Rio Caroni, Venezuela.
Navlačenje se vršilo preko stalnih i pomoćnih stupova*

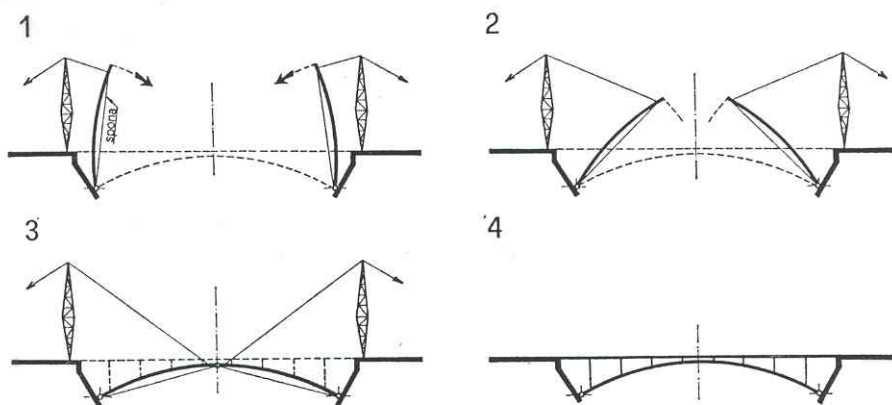
Uzdužno premještanje može se primijeniti i na mjestima gdje se ispod mosta nalazi voda, tako da konstrukciju oslonimo na plovilo. Tako se mogu prenositi i vrlo teški dijelovi, a mogu se premještat i cjelokupne konstrukcije (slika 6.57).



Slika 6.58 – Razne mogućnosti uzdužnog premještanja rasponske konstrukcije pomoću plovila

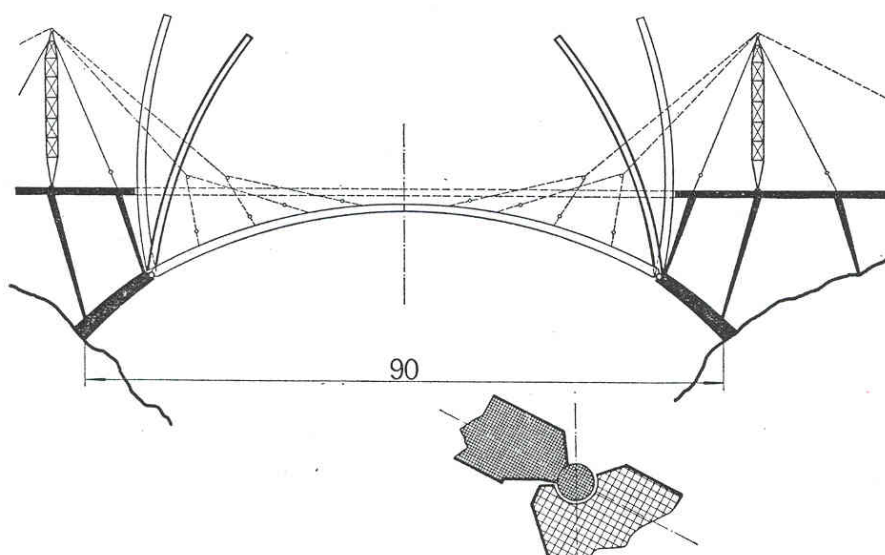
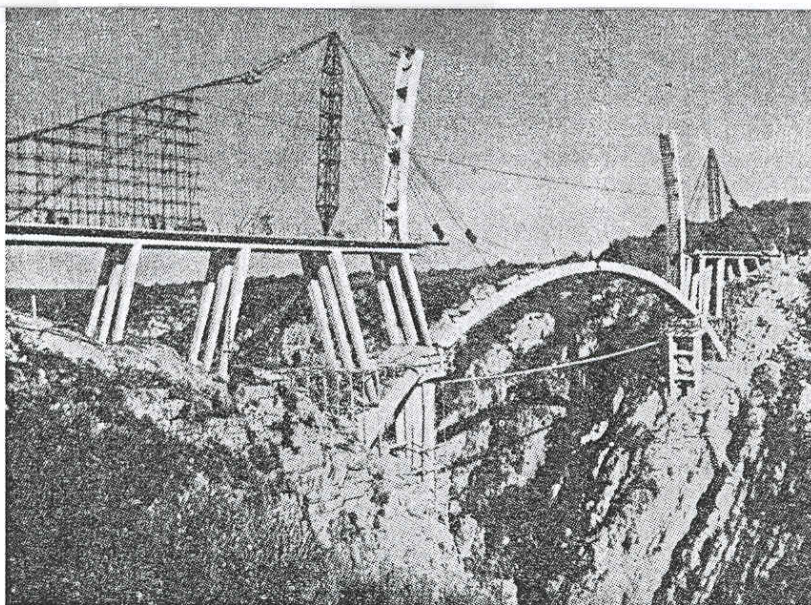
6.5.11 Izvedba lukova postupkom zaokretanja

Lukovi mostova mogu se izraditi na obali, ili izvesti na licu mjesta u vertikalnom položaju, pa se zatim zakretanjem dovesti u definitivni položaj (slika 6.58).



Slika 6.59 – Prikaz postavljanja luka uz zaokretanje u vertikalnoj ravnini

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 trozglobni lukovi) ili monolitizirati (upeti lukovi).

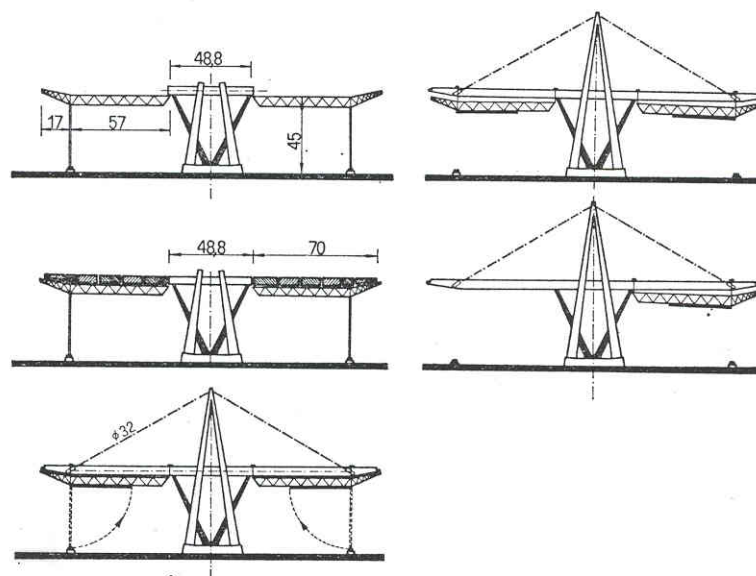
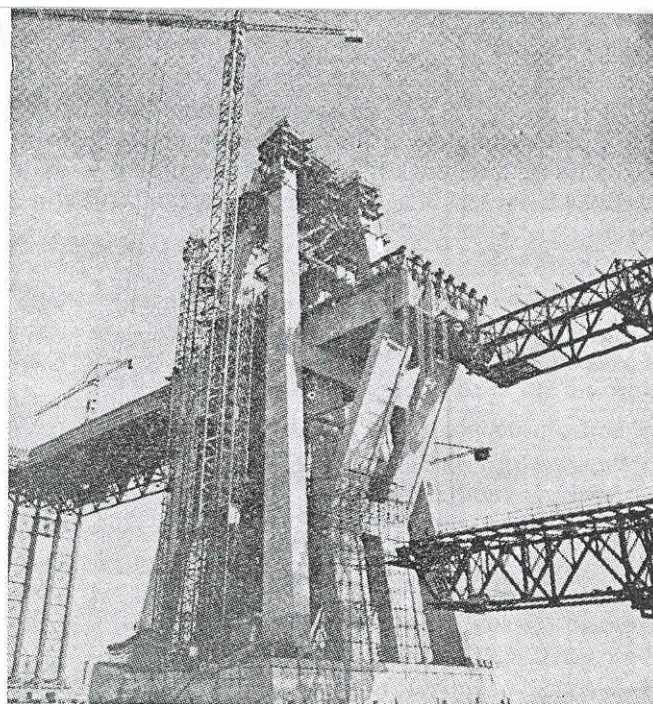


Slika 6.60 – Most na Strom River, Južna Afrika u građenju

6.5.12 Nešto na kraju

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.



Slika 6.61 – Most Maracaibo, Venezuela, prikaz građenja

7. Oprema mostova

7.1 UVOD

Mostovi, osim konstruktivnih elemenata koji prenose opterećenja i koji su navedeni u prethodnom poglavlju, sadrže i dijelove koji prvenstveno služe potrebama sigurnog i udobnog prometa, a koji se obično zajednički nazivaju oprema mosta. U opremu mosta obično se ubrajaju i ležajevi koji prenose opterećenja s gornjeg na donji ustroj.

Opremu mosta obično sačinjavaju:

- ležajevi,
- prijelazne naprave,
- prijelazne ploče,
- oprema za odvodnju mosta,
- ograde,
- rubnjaci, vijenci i odbojnici,
- kolnički zastor i hidroizolacija,
- oprema za rasvjetu mosta,
- oprema za prevođenje raznih instalacija preko mosta,
- oprema za pregled i održavanje mosta.

Oprema mosta ovisi o veličini, namjeni, lokaciji, klasi mosta, gradivu i konstrukcijskim obilježjima. Elementi opreme se mogu projektirati, proizvesti i ugraditi kao dijelovi mosta ili se mogu odabrati gotovi prefabricirani elementi, koji nekad ne moraju biti nužno vezani za mostogradnju. Mnoge zemlje su tipizirale detalje mostova, tj. dijelove opreme mostova.

Ako je most ispravno projektno koncipiran te izveden sukladno propisima i pravilima struke, oprema presudno utječe na njegovu trajnost i upotrebljivost. Iskustvo je pokazalo da je većina oštećenja na mostovima posljedica loše projektirane, izvedene ili neodržavane opreme. Vrlo zorni primjer su mostovi sa loše riješenom odvodnjom i hidroizolacijom, čiji je vijek trajanja mnogostruko manji od projektiranog.

Ako principijelno smatramo da je vijek eksploatacije mosta 80 do 120 godina, a dijelova opreme mosta oko 25 godina, znači da u vijeku trajanja mosta treba računati s time da će se neki dijelovi opreme morati mijenjati 3 do 4 puta. Iz tog razloga prilikom izbora opreme mostova treba prednost davati onim rješenjima kod kojih je zamjena jednostavna i brza, uz minimalno ograničenje prometa, posebice kod mostova na autocestama. U svakom slučaju, već u projektu je potrebno osigurati mjere lake, brze i jednostavne zamjene pojedinih dijelova opreme, predviđajući potrebne otvore, stepenice, penjalice, vrata i sl.

Veći dio radova na održavanju mostova, posebice masivnih mostova, svodi se na popravke i zamjenu opreme. Radi lakšeg i jednostavnijeg održavanja mostova, uprave za cese pojedinih zemalja uspostavile su posebne sustave gospodarenja mostovima (Bridge Management), koji propisuju detalje i smjernice projektiranja i izvođenja mostova, te izbora opreme za mostove. S toga je i zanimljiva preporuka britanske uprave za ceste da svi mostovi duljina da 60 m trebaju biti integralni (monolitni, bez prijelaznih naprava i ležajeva). Takvo stajalište sve je prisutnije i u drugim zemljama, a što potvrđuje da je lakše i jeftinije dodatno opteretiti glavne elemente nosivog sklopa nego održavati opremu.

Nasuprot malim i robusnim sklopovima malih i srednjih raspona, koji zahtijevaju minimum nadzora i održavanja, stoje veliki i složeni sklopovi koje je porebno neprekidno nadzirati. Nadziranje velikih mostova često se vrši samo geodetskim nadzorom. Složena oprema za praćenje i nadzor konstrukcije (monitoring) za sada se ugrađuje samo iznimno i to u najsloženije objekte velikih raspona. Kod nas je, na primjer, ugrađena oprema za praćenje korozije armature u novi Maslenički most, koji se nalazi u vrlo agresivnoj sredini.

7.2 Ležajevi

7.2.1 Općenito

Ležajevi su konstruktivni elementi koji služe za prijenos opterećenja (horizontalnih i vertikalnih sila) s rasponskog sklopa na potpore - stupove i upornjake. Pri tome, ležajevi omogućavaju ili sprečavaju pomake i zakretanja sklopa, već prema tome što je predviđeno konstrukcijskom koncepcijom.

Osnovna podjela ležajeva je prema mogućnostima pomaka, pa tako se ležajevi praktično dijele na nepomične, pomične i deformabilne ležajeve.

Nepomični ležajevi osim vertikalnih opterećenja prenose i horizontalne sile (sile kočenja, vjetra, trenja u pomičnim ležajevima, sile otpora elastično deformabilnih stupova, otpora u dilatacijskim reškama, sile od potresa, itd.).

Pomični ležajevi mogu biti pomični u jednom ili više smjerova. Moraju omogućiti promjenu duljine rasponske konstrukcije u smjeru u kojem su pomični, a usljed pomaka koji nastaju zbog promjene temperature, sila kočenja, zakretanja nosive konstrukcije i sl. U stvarnosti u smjeru pomaka javljaju se i male horizontalne sile koje nastaju zbog otpora trenja u samim ležajevima, ali su to redovito utjecaji zanemarivi u odnosu na ostala djelovanja.

Deformabilni ležajevi (elastomerni ležajevi) preuzimaju i vertikalne i horizontalne sile. Pri tome se deformiraju i omogućavaju pomake konstrukcije. U biti i ostali ležajevi se pri opterećenju deformiraju, ali su deformacije elastomernih ležajeva znatno veće i služe za ostvarenje osnovne funkcije ležaja.

Ležajevi se danas vrlo rijetko projektiraju, već se nabavljaju od specijaliziranih proizvođača. Pri tome vrlo je bitno obratiti pažnju na prateću atestnu dokumentaciju koja mora sadržavati jamstvo kvalitete, funkcionalnosti, vijeka trajanja te način servisiranja i izmjene.

Pri projektiranju i ugradnji ležajeva treba se držati sljedećih načela:

- sve ležajeve i zglobove treba ugraditi u horizontalnom položaju, bez obzira na nagib rasponskog sklopa;
- ležajeve treba ugrađivati na armirano betonske kvadre (klupice);
- konstrukcijskim rješenjima zone oslanjanja nužno je osigurati pristup svim dijelovima ležaja i odrediti mjesta za hidrauličke preše kojima će se obaviti njihova izmjena ili popravak.

U nastavku nabrojat će se neke vrste ležajeva koji se danas projektiraju i izvode u Hrvatskoj.

7.2.2 Zglobovi

7.2.2.1 Betonski zglobovi

Koriste se u situacijama kada je potrebno dopustiti zakretanje bez pomicanja. Njihov proračun provodi se prema poznatim načelima dimenzioniranja betonskih konstrukcija na lokalna tlačna naprezanja, pri čemu je potrebno zglob armirati za prijem uzdužnih i poprečnih sila. Betonske zglobove treba izbjegavati u agresivnim (korozivnim) sredinama.

7.2.2.2 Čelični zglobovi

Čelični zglobovi se koriste prvenstveno kod metalnih mostova. Njihov proračun i dimenzioniranje vrši se sukladno pravilniku za čelične konstrukcije.

7.2.3 Armirani elastomerni ležajevi

Armirani elastomerni ležajevi sastoje se od:

- vanjskog elastomernog plašta koji štiti čelične ploče od korozije;
- unutarnjih slojeva elastomera koji omogućavaju djelovanje ležaja;
- čeličnih ploča vulkaniziranih u elastomer, koje sprečavaju bočno širenje ležaja pod opterećenjem.

Prema potrebi mogu biti i dodatno opremljeni:

- pločama i trnovima za usidrenje;
- kliznim pločama koje omogućavaju veće pomake.

Osnovne značajke elastomernih ležajeva su:

- vertikalna elastičnost;
- jednolika razdioba tlačnih naprezanja (plošni prijenos reakcije);
- mala konstrukcijska visina;
- jednostavo oblikovanje i ugradba.

Elastomerni ležajevi mogu preuzeti sile, no one ne smiju djelovati stalno. Zbog djelovanja horizontalne sile na ležaj, nastaju pomaci koji izazivaju reakciju (povratnu silu) čija veličina ovisi o tlocrtnoj površini ležaja, dopuštenom kutu nagiba ležaja i modulu posmika G . Reakcija se prenosi trenjem između podloge i ležaja, tje ležaja i nadkonstrukcije, pa je potrebno provjeriti da li se u svim kombinacijama opteređenja ostvaruje dovoljna vertikalna sila za ostvarenje minimalno potrebnog trenja.

U slučaju da to nije ispunjeno, koriste se usidreni elastomerni ležajevi, prikazani u tablici 7.1.

Podtip armiranog elastomernog ležaja	Neusidreni	Usidreni	
Svestrano elastično pomični	armirani elastomerni ležaj (AEL)	usidreni AEL	
Sa spriječenim elastičnim pomacima		jednostrano pomični	nepomični
Klizni	svestrano pomični	poprečno nepomični, uzdužno elastično i klizno pomični	poprečno elastično pomični, uzdužno elastično i klizno pomični

Tablica 7.1: Neki tipovi armiranih elastomernih ležajeva

Sidrenje elastomernih ležajeva može se pri ugradbi znatno zakomplicirati, osobito kod montažnih nosača, s toga je razvijeno niz načina sidrenja: pomoću trnova, vijaka, okroglih ploča, moždanika i sl.

Prema potrebi mogu se naručiti i nestandardni ležajevi, no većinom se koriste standardne veličine, prema katalogima proizvođača. Neke osnovne karakteristike elastomernih ležajeva prikazane su u tablici 7.2, a dopuštena tlačna naprezanja i najmanja dozvoljena tlačna naprezanja prikazana su u tablici 7.3.

Tlocrtne izmjere:	Pravokutni: od 100×150 do 650×1000 mm
	Okrugli: od Ø200 do Ø900 mm
Konstruktivska visina:	od 14 do 332 mm
Vertikalna nosivost:	od 100 do 12150 kN
Dopušteni kut zaokreta:	od 1‰ do 21‰
Modul posmika:	$G \approx 1.0 \text{ N/mm}^2$

Tablica 7.2: Neke osnovne karakteristike elastomernih ležajeva

Opis	Tlocrtne izmjere	Dopušteni tlak (MPa)
Najveća tlačna naprezanja	do 150×200; do Ø200	10.0
	do 250×400; do Ø350	12.5
	veći ležajevi	15.0
Najmanja potrebna tlačna naprezanja	do 250×400; do Ø350	3.0
	veći ležajevi	5.0

Tablica 7.3: Najmanja i najveća dopuštena tlačna naprezanja na AEL

7.2.4 Lončasti ležajevi

7.2.5 Ležajevi specijalne namjene

Osim dosada opisanih ležajeva postoje i ležajevi specijalne namjene koji se neće pobliže opisivati već će ih se samo navesti.

Ležajevi podesive visine ugrađuju se u mostove kod kojih se očekuju veća diferencijalna slijeganja, radi lake i jednostavne kompenzacije tih slijeganja.

Klizni ležajevi za velike pomake upotrebljavaju se pri gradnji mostova uzdužnim potiskivanjem, a omogućavaju premještanje teških elemenata.

7.2.6 Raspoređivanje ležajeva na mostu

Uzdužni raspored

Kod kraćih kontinuiranih nosača nepomičan ležaj je na jednom upornjaku gdje je najjednostavnije prenijeti horizontalne sile u tlo. Pri tome se najveće dilatacije pojavljuju na suprotnom upornjaku iznad pomičnog ležaja.

Za dulje sklopove može biti ekonomično postavljanje nepomičnog ležaja na stup u blizini sredine mosta. Pritom se povećani izdatak za stup koji mora preuzeti horizontalne sile uspoređuje s izdacima za manje prijelazne konstrukcije na upornjacima. Ako su stupovi vitki postoji mogućnost rješenja s nekoliko nepomičnih ležaja oko sredine mosta.

Tlocrtni raspored (dispozicija)

Nepomični ležaji postavljaju se u paru samo kod uskih mostova, razmak ležaja oko 5 m. Za veće širine mora se omogućiti i poprečno dilatiranje.

Važno je voditi računa da čelični ležajevi se razlikuju od elastomernih po načinu prijenosa opterećenja. Kod čeličnih ležajeva se opterećenje prenosi malim, tzv. točkastim ili linijskim dodirnim plohamama zbog čega se na tim mjestima javlja velika koncentracija naprezanja, dok se kod elastomernih ležaja opterećenje prenosi preko veće plohe, što je povoljnije kod unosa koncentrirane sile u sklop i potporu.

7.2.7 Proračun ležajeva

7.3 Ograde

7.3.1 Općenito

Ograde su elementi mosta koji osiguravaju prolaz pješaka i vozila preko mosta. Vrlo su bitan estetski element mosta. Istaknute su po svom položaju i često je za izgled mosta odlučno kako izgledaju u pogledu na most i u pogledu s mosta.

U nekim okolnostima potrebno je da ograde štite prolaznika od odnosa i događaja izvan i ispod mosta, kao što su vjetar, buka, dim, svjetlo i slično. Na nekim mjestima ogradama se može ograničiti pogled na okolinu, a na drugim omogućiti potpuni pogled na okolinu.

Ograde mogu biti različite izvedbe (pune, šuplje...), napravljene od različitih materijala (drvene, kamene, metalne...), te različite namjene (za pješake, vozila...). Za kamene i zidane ograde možemo reći da pripadaju prošlosti, i u novije vrijeme rade se samo pri rekonstrukciji starih mostova. Danas se najviše upotrebljavaju metalne ograde (čelične ili aluminijske), betonske ograde od predgotovljenih elemenata ili ograde kombinirane od betona i metala.

7.3.2 Metalne ograde

Metalne ograde obično se sastoje od rukohvata (naslona), stupaca i ispune. Visina rukohvata ovisi o jačini pješačkog prometa i o visini nivelete nad terenom, a obično se kreće od 90 do 120 cm.

Metalne ograde najbolje je direktno zavariti na ubetoniranu čeličnu ploču. Da bi se podložna čelična ploča zaštitila od korozije, dobro je malo upustiti i nakon montiranja ograde zaliti epoksidnim mortom.

Crtež 7.1 prikazuje ogradu s nosivim stupcima i vertikalnom ispunom kakva se često izvodi na hodnicima cestovnih mostova.



slika o.1 - crtež 4.12 – Čandrlić

Slika 7.1 - Ograda s nosivim stupcima i vertikalnom ispunom

Ograde se mogu montirati i na način da se stupci ograde postavljaju u pripremljene otvore u vijencu mosta. Takve otvore treba ojačati spiralnom armaturom, a na njihovom dnu predvidjeti otvor (Ø20 mm) za odvodnju i čišćenje. Nakon što se ograda postavi i fiksira, oko stupaca se izrađuju uzdignute kape od epoksidnog morta, da bi se spriječio nastanak korozije. Jedna ovakva ograda s detaljima prikazana je na crtežu 7.2.



slika o.2 - crtež 4.13 – Čandrić

Slika 7.2 - Ograda koja se ugrađuje u vijencu mosta

U novije vrijeme aluminijske ograde su zamijenile čelične. Prednost aluminijskih ograda je u njihovom mnogo jednostavnijem održavanju.

Metalne ograde se izrađuju i zaštićuju prema propisima za metalne konstrukcije. Mase čeličnih ograda kreću se od 25 do 100 kg/m, a uobičajene su mase 30 do 50 kg/m. Stupci ograda obično se nalaze na razmaku 2 do 2.5 m, dok se dilatacijske reške, koje su ujedno i montažni nastavci ograde, nalaze na razmaku 4 do 8 m.

Metalne ograde treba obavezno uzemljiti protiv elektriciteta iz atmosfere, eventualnog oštećenja električnih vodova koji prolaze mostom, te od lutajućih struja koji se mogu pojaviti na željezničkim i tramvajskim mostovima. Na dilatacijama ograde mora se osigurati kontinuitet električne vodljivosti.

7.3.3 Betonske ograde

Betonske ograde mostova izrađuju se obično kao predgotovljeni (prefabricirani) elementi koji se slažu na prethodno pripremljena ležišta na vijencima mosta. Ove ograde se mogu na osnovnu konstrukciju spajati sidrima, vijcima i drugim sredstvima. Pri tome se ograda i vijenac mogu spojiti u jedinstvenu cjelinu, što povećava otpornost i trajnost ograde. Neki poprečni presjeci betonskih ograda prikazani su na crtežu 7.3.



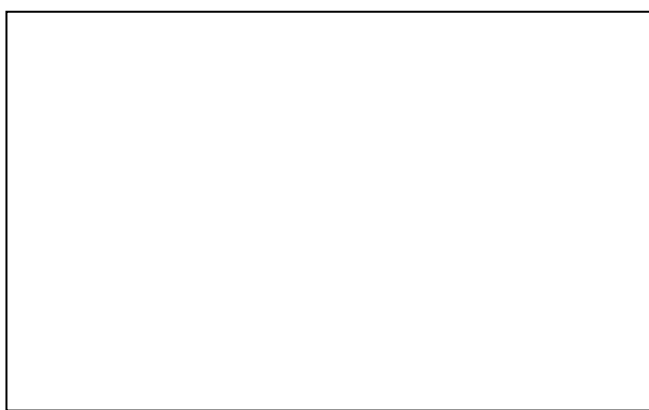
slika o.3 - crtež 100 - Tonković (416)

Slika 7.3 – Neki poprečni presjeci betonskih ograda

Općenito govoreći betonske ograde su jeftinije, izvedbeno jednostavnije i trajnije od drugih ograda. Mana im je što su teško popravljive nakon oštećenja od udara vozila, ali i od oštećenja koje prouzrokuje prodor vode i korozija armature.

Betonske ograde općenito se izrađuju u komadima dužine 4-6 m. Radi povećanja trajnosti montažne reške je potrebno vodonepropusno zabrtviti epoksidnim malterom ili nekom drugom sličnom smjesom.

Vrlo često korištena montažna betonska ograda u novije vrijeme je tzv. New Jersey ograda. Ova ograda specijalnog oblika, koja ujedno služi i kao odbojnik, nastala je nakon godina istraživanja pogodnog oblika ograde mosta koja će onemogućiti izlijetanje vozila s mosta. Ovakve ograde obavezne su u vodozaštitnim područjima, jer se pri svakom udesu vozilo zadržava na prometnici, pa se i opasne tekuće koje su istekle iz npr. prevrnutе cisterne, zadržavaju u zatvorenom sustavu odvodnje prometnice, a ne zagađuju okoliš. Oblik New Jersey ograde prikazan je na crtežu 7.4.

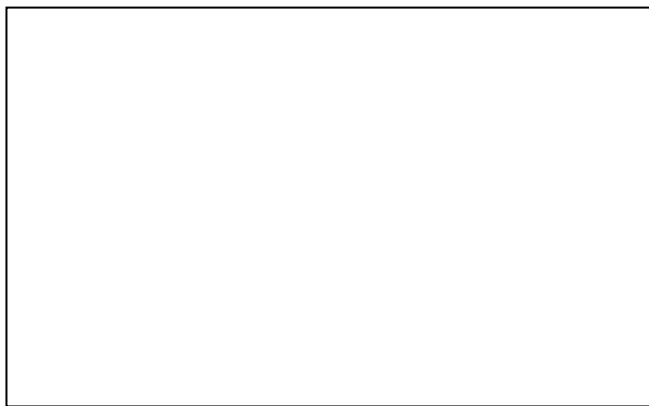


slika o.4 - New Jersey ograda

Slika 7.4 – New Jersey ograda

7.3.4 Ograde od kombiniranih materijala (metal-beton)

Ove ograde su obično klasične betonske ograde na kojima su rukohvati metalni. Kod ove kombinacije valja posebno pažljivo obraditi mjesto gdje metal ulazi u beton, jer su takva mjesta naročito osjetljiva na prodiranje vode, što uzrokuje mrlje i pukotine u betonu i rđanje armature. Mostovi sa New Jersey ogradama kod kojih je predviđen i pješački promet obično imaju metalne rukohvate.



slika o.5 - New Jersey ograda s metalnim rukohvatom (Tonk. sl 124, str. 438)

Slika 7.5 - New Jersey ograda s metalnim rukohvatom

7.4 Rubnjaci i odbojnici

Udobnost i sigurnost prelaska preko mosta može se povećati na taj način da se uz slobodne strane kolnika (prema pješačkim hodnicima) postave rubnjaci (obrubi), te hodnik izdigne iznad kolnika. Rubnjaci služe da pridrže vozila koja bi inače mogla pri laganoj vožnji skliznuti poprijeko. Oni su i određena markacija ruba kolnika, a ujedno sprečavaju i curenje vode preko ruba mosta koje oštećuje njegovo pročelje. Ovakva stuba nije dovoljna fizička zaštita, ali ipak može poslužiti kao ograničenje kretanja vozila.

Na cestovnim mostovima hodnici su redovito uzdignuti. Ovim nastaju bolji uvjeti za ocjeđivanje vode, a pješaci se na višoj plohi osjećaju sigurnije.

Visina rubnjaka se obično kreće 12 do 26 cm. Izrađuju se od kvalitetnog kamena (obično eruptivnog) ili od betona s eruptivnim agregatom i veće marke. Neki primjeri rubnjaka prikazani su na crtežu 7.6.



slika o.6 - rubnjaci (Tonk. sl 119, str. 434)

Slika 7.6 - Neki primjeri rubnjaka

Na cestovnim mostovima, gdje se želimo što bolje osigurati protiv izljetanja vozila s kolnika moramo postaviti posebne ograde - odbojнике. Odbojници moraju biti tako projektirani i izvedeni da se pri udaru vozila vozilo što manje ošteti, a putnici i vozač što manje stradaju. Ovo se može izvesti na način da se energija udara vozila usmjeri na deformiranje odbojnika, te da vozilo klizi niz odbojnik.

Odbojници i ograde se često prožimaju, pa nije rijedak slučaj da na nekim mostovima odbojници služe kao ograde i obratno. Tipičan primjer je New Jersey ograda koja je ujedno i odbojnik.



slika o.6 - odbojници (Tonk. sl 123, str. 437)

Slika 7.7 - New Jersey ograda (ujedno i odbojnik)

7.5 Rasvjeta

Rasvjeta mosta je jedan od bitnih činilaca ukupne vrijednosti mosta. Rasvjetom nastojimo povećati sigurnost prometa i omogućiti bržu vožnju. Pri tome težimo ostvariti što jednoličniju rasvjetu pogodnim izborom izvora svjetla, rasporedom svjetiljaka i visinskim položajem izvorišta, uz dakako, što veću ekonomičnost instalacija.

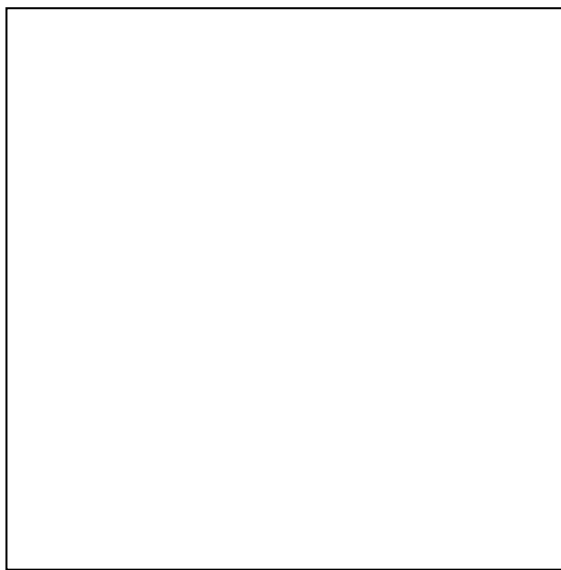
Proračuni rasvjete se oslanjaju na rasvjetu plohe kolnika pri svim uvjetima (suho, magla, kiša). Proračun rasvjete rade stručnjaci i to u fazi projekta. Praksu da se na gotov most dodaje rasvjeta bilo bi dobro prekinuti.

Svakako valja uskladiti rasvjetu s drugim djelovima mosta, posebno kada se rasvjeta projektira na visokim stupovima na mostu ili uz most. To znači da se pri izboru uzdužne i poredne dispozicije mosta mora odabrati i položaj stupova, odnosno način rasvjete mosta i prilaza.

Neki načini rasvjete mostova, te njihove prednosti i mane, prikazani su u nastavku.

7.5.1 Rasvjeta u naslonu ograda

Rasvjetu možemo postaviti u naslon ograda, što znači 100-130 cm nad kolnikom. Ovakvim postavljanjem rasvjete izbjegavamo stupove, pa po danu instalacija nije uočljiva. No, pri ovom položaju prolaznici će zastirati svjetlo, a nije povoljno ni da su instalacije na dohvat prolaznicima.



slika o.7 - rasvjeta (Tonk. sl 186, str. 498)

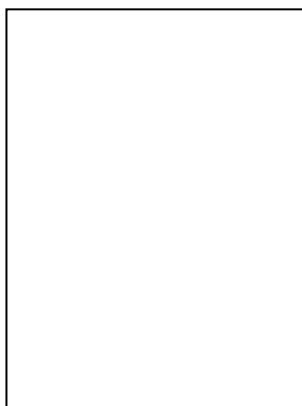
Slika 7.8 - Rasvjeta u naslonu ograda

7.5.2 Nizovi niskih kandelabra

Klasična ulična rasvjeta s nizom niskih kandelabra može se primijeniti i na mostovima. Stupci rasvjete se tada nalaze obično u liniji ograda, udaljeni od kolnika min. 50 cm da vozila ne bi zapela o njih. Za prolaznike je najbolje da se stupci nalaze na konzolama izvan mosta što je i oblikovno čišće rješenje.

Za široke mostove ovakva rasvjeta je manjkava jer slabo osvjetljava sredinu mosta.

Ujedno, valja paziti na razmake i oblik stupova te ritam pojave stupova prilikom prelaska preko mosta.



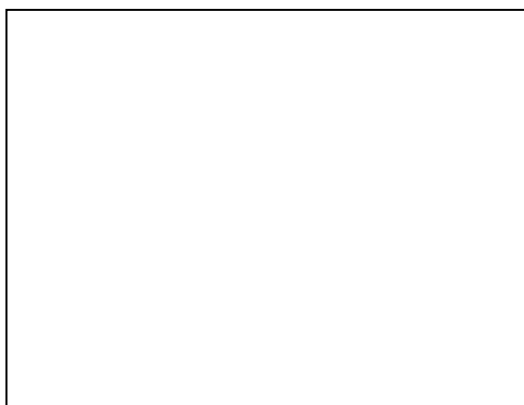
slika o.8 - rasvjeta (Tonk. sl 187, str. 499)

(most Vukovarska)

Slika 7.9 - Rasvjeta mosta "Vukovarska"

7.5.3 Svjetla obješena na razapetim užetima

Za rasvjetu kolnika može se pokraj ceste postaviti stupci i preko njih razapeti uže te na njega objesiti rasvjetno tijelo. Dakako da pri tom mora biti osiguran slobodni profil ispod užeta. S gledišta obasjavanja ovakva rasvjeta je vrlo povoljna jer su izvorišta svjetla postavljena upravo povrh plohe koju obasjavaju. No, takva rasvjeta danju znatno utječe na izgled mosta i teško se može uskladiti s optimalnim prizorom prelaska preko mosta.



slika o.10 - rasvjeta (Tonk. sl 191, str. 501)

Slika 7.10 - Rasvjeta obješena na užetima

7.5.4 Nizovi malih svjetiljaka

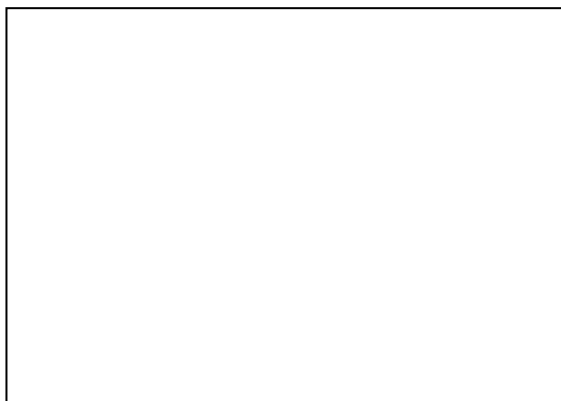
Na nekim mostovima, posebno mostovima s upuštenim kolnikom te visećim i ovješanim mostovima, rasvjeta može biti raspoređena na posebnim užetima ili samoj konstrukciji u dugim nizovima. Ovakva rasvjeta može biti vrlo efektna.

7.5.5 Rasvjeta na visokim stupovima

U novije vrijeme proizvode se jaki izvori svjetla koji se mogu postaviti na nekoliko pojedinačnih visokih stupova a da pri tom prometna ploha bude prikladno osvijetljena. Visina

7. Oprema mostova

ovih stupova nerijetko se kreće 30 m pa i više, što ima za posljedicu da i rasvjetni stup treba dimenzionirati na djelovanje vjetra.



slika o.11 - rasvjeta (Tonk. sl 193, str. 503)

Slika 7.11 - Rasvjeta na visokim stupovima

7.5.6 Rasvjeta ispod mosta

U nekim slučajevima potrebno je rasvjetu postaviti i ispod mosta. Ovo se radi kod mostova kod kojih promet prolazi ispod njih, ali se često rasvjeta postavlja i zbog naglašavanja određenih obilježja mosta, ili zbog isticanja samog mosta u vizuri grada.



slika o.12 - nađi nešto na web-u

Slika 7.12 - Rasvjeta ispod mosta

7.6 KOLOVOZ

Slojevi kolovoza mostova služe produljenju kolovoza prometnice koju prevodimo preko mosta. Zbog toga što su podloge kolovoza na mostu različite od podloga na otvorenim potezima obično su i slojevi kolovoza na mostovima drugačiji od slojeva izvan mosta.

Optimalni kolovoz na mostu uz to mora posjedovati neka svojstva koja na otvorenim potezima nisu toliko važna. Razlike se mogu ovako prikazati:

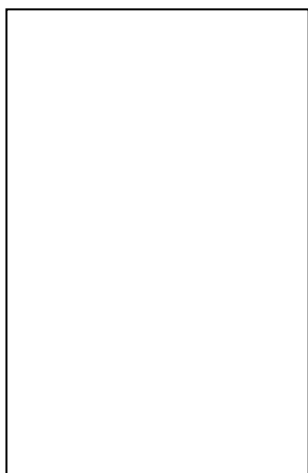
- Podloga na mostu je toliko kruta da slojevi kolovoza to ne moraju biti, odnosno njihova krutost nije zanimljiva;
- Što je manja težina kolovoza to će stalni teret na mostu biti manji;
- Poželjno je da se kolovoz na mostu što manje oštećuje i haba, da bi popravci bili što rjeđi;
- Svaka neravnost plohe po kojoj se odvija promet povećava dinamičke pojave pa se slojevi kolovoza moraju tako projektirati da je ploha trajno što ravnija;
- Poželjno je da su slojevi kolovoza što nepropusniji za vodu, da bi time pridonijeli zaštiti konstrukcije od propadanja;
- Pogodno je da su slojevi kolovoza i pogodna toplinska izolacija, da bi se smanjila pojava poledice.

7.6.1 Kolovozi željezničkih mostova

Na željezničkim masivnim mostovima provodi se obično preko mosta čitav gornji ustroj željezničkog kolosijeka s posteljicom i poprečnim pragovima. Za kratke mostove to je očito najbolje, jer se ne prekida konstrukcija kolosijeka i uvjeti vožnje, a održavanje je jednostavno; kao na otvorenom.

7.6.1.1 Provedena posteljica

Kad predviđamo preko mosta proveden čitav kolosijek bit će potrebno odrediti minimalnu debljinu posteljice i urediti plohu na koju će se ona postaviti. Za posteljicu je prikladno betonsko korito, jer se tučenac ne razilazi, a lako je u njemu skupiti oborinsku vodu i odvoditi most. Na prugama normalnog kolosijeka traži se da minimalna debljina posteljice bude 40 cm; ona će, dakle, na ostalim mjestima biti veća, ovisno o nagibima plohe podloge.



slika o.13 – Tonković SNL MOSTOVI, stranica 450 (slika 137)

Slika 7.13 - Prikaz željezničkog kolosijeka, s posteljicom

Propisima željezničkih uprava određena je minimalna širina korita između obruba, dakle širina onog prostora u koji dolazi tučenac s pragovima i tračnicama.

7.6.1.2 Željeznički kolosijek bez posteljice

Prema prilikama, a u vezi s konstrukcijom kolosijeka na otvorenoj pruži ili pak na velikim mostovima možemo položiti pragove izravno na betonsku podlogu. Tada će gornji dio kolnika biti jednak kao na ostalim sektorima. Ispod pragova umeću se podmetači da bi kolosijek bio elastičniji. Tako je smanjena visina i težina, što prema prilikama može biti značajno.

7.6.1.3 Kolosijek bez pragova

Još će biti jednostavnije položiti tračnice izravno na betonsku podlogu. Međutim, takvo bi rješenje dalo suviše tvrdi kolosijek pa se ispod tračnica stavljaju posebni elastični ulošci od umjetne gume. Dobro je da takvi ulošci budu profilirani u presjeku, da se poveća njihova deformacija pod opterećenjem. Elastične je uloške potrebno pravodobno mijenjati, a to je jedan od nedostataka takvog kolosijeka. No, težina i visina je mnogo manja nego kod provedene posteljice.

7.6.2 Kolovozi cestovnih mostova

Na masivnim mostovima izvode se različiti kolovozi, neke od njih rijetko upotrebljavamo. Najobičniji su asfaltni kolovozi, ali su slojevi tih kolovoza nešto drukčiji od onih na otvorenim potezima cesta. Samo na svodnim mostovima s punim pomostom možemo jednostavno provesti i preko mosta kolovoz jednak onome na otvorenoj cesti. Za cestovni promet mogu biti baš takva rješenja povoljna, jer su ona obično vezana na rješenja u kojima nema prijelaznih uređaja.

7.7 Prijelazni uredaji

7.8 Odvodnja

8. Opterećenja mostova

8.1 UVOD

Mostovi pripadaju među najstarija ostvarenja graditeljskog umijeća čovječanstva. Grade se već više tisućljeća. Međutim, metode proračuna njihovih nosivih konstrukcija razvijaju se tek u posljednja dva stoljeća, tj. nakon osnutka "Pariške škole za ceste i mostove", 1747. (Jean Rodolph Perronet).

Od tog doba počima razdoblje teorijskih analiza nosivih konstrukcija, proračuna i dokaza nosivosti, pa se počimaju raditi konstrukcije s boljim iskorištenjem nosivosti presjeka.

Opterećenja i djelovanja na mostove koja uzrokuju sile u nosivim sklopovima možemo složiti u skupine prema nekim zajedničkim obilježjima:

I podjela (prema vjerojatnosti pojave):

- opterećenja za koja je most građen,
- slučajna opterećenja koja se pojavljuju neovisno o prvima.

II podjela (prema dinamičkim utjecajima):

- mirna,
- ona koja izazivaju neke dinamičke pojave.

III podjela (prema učestalosti pojave):

- trajno prisutna,
- opterećenja koja se javljaju kao više ili manje učestale pojave.

U praksi projektiranja mostova opterećenja su obično podijeljena u tri skupine:

- osnovna,
- dodatna,
- izvanredna.

Propisi pojedinih država i međunarodnih organizacija određuju veličine pojedinih opterećenja te određuju kombinacije opterećenja s kojima moramo računati nosivu konstrukciju mosta, odnosno određeni dio nosive konstrukcije.

Proračuni konstrukcija mostova provode se prema propisanim kombinacijama opterećenja, ispituju se stanja naprezanja i deformacija i određuju ugrožena mjesta zbog dostizanja sloma. Kontroliraju se granična stanja deformacija (najčešće progiba) te granična stanja pukotina (za armiranobetonske mostove)

8.2 PODJELA OPTEREĆENJA

8.2.1 Osnovna djelovanja

U pravilu uvijek postoje na mostu ili nekom njegovom elementu, a posljedica su osnovne namjene mosta. Promjene vrijednosti opterećenja su zanemarive. To su:

- vlastita težina,
- stalni teret na mostu,
- korisno (pokretno) opterećenje,

- sile koje nastaju od prednaprezanja,
- skupljanje i puzanje materijala (kod prednapregnutih i spregnutih konstrukcija),
- opterećenje vodovima,
- aktivni tlak tla,
- tlak i težina mirne vode (hidrostatičko opterećenje),
- djelovanje tekuće vode (hidrodinamičko opterećenje),
- uzgon,
- opterećenje na ogradu mosta,
- deformacije nastale kao posljedica načina gradnje.

8.2.2 Dodatna djelovanja

Javljaju se povremeno, ali je vjerojatnost njihove pojave u vijeku trajanja mosta velika. Također su značajne i promjene vrijednosti djelovanja. U dodatna opterećenja spadaju:

- temperaturne promjene,
- skupljanje (bujanje) i puzanje betona,
- vjetar,
- snijeg,
- udari leda,
- sile pri pokretanju i sile pri zaustavljanju vozila (kočione sile),
- otpori u ležajevima, centrifugalne sile (mostovi u krivinama),
- moguće pomicanje temeljnog tla,
- potres (P_1).

8.2.3 Izvanredna djelovanja

Javljaju se rijetko ili nikako i obično su vrlo kratkotrajna. Međutim njihovo djelovanje može izazvati ekstremne utjecaje u nosivom sklopu. U izvanredna opterećenja spadaju:

- udari vozila i plovnih objekata,
- potres (P_2),
- izvanredna opterećenja,
- privremena stanja pri gradnji,
- eksplozije.

8.3 ZAJEDNIČKI UTJECAJI VIŠE DJELOVANJA

Mostovi i njihovi dijelovi istovremeno se moraju provjeriti na zbirni utjecaj više djelovanja. Provjera na istovremeni utjecaj više djelovanja vrši se superpozicijom utjecaja. Obično se vrše sljedeće superpozicije:

- 1) Osnovno djelovanje;
- 2) Osnovno + Dodatno djelovanje;
- 3) Osnovno + Izvanredno djelovanje.

Pri proračunu ukupnih utjecaja izostavljaju se djelovanja koja smanjuju ukupne utjecaje, osim kad postoje dokazi da su ona stalna. Npr. prilikom proračuna stabilnosti mosta na uzgon ne uzima se u obzir prometno opterećenje na mostu (jer nije stalno), ali se uzima u obzir vlastita težina mosta (djeluje stalno).

8.4 STALNI TERET I VLASTITA TEŽINA NOSAČA

Stalni teret je onaj koji se tokom predviđenog roka trajanja građevine zamjetno ne mijenja, ni po veličini ni po svojem položaju i smjeru djelovanja. Taj je teret određen geometrijskim oblikom i dimenzijama dijelova mosta i konstrukcije te specifičnim zapreminskim gustoćama gradiva od kojeg su dijelovi izrađeni. Karakteristika je dakle stalnog tereta da on djeluje trajno i mirno kao vertikalno opterećenje i možemo ga jednostavno izračunati.

U projektiranju mostova javlja se i pojam vlastite težine nosača, onog dijela kojeg upravo projektiramo. To je određeni dio stalnog tereta, a izdvaja se zbog toga što njegovu veličinu najčešće ne možemo unaprijed točno odrediti. Naime, dimenzije nosača određujemo prema ukupnim silama koje djeluju na konstrukciju pa ih unaprijed ne znamo.

Vlastitu težinu, tj. dimenzije nosača, u postupku proračuna uvijek je potrebno unaprijed pretpostaviti, te računom dokazati njihovu ispravnost ili neispravnost. Da bi olakšali ovaj postupak uvijek se služimo iskustvom, podacima sa već izvedenih (dobro konstruiranih) mostova, literaturom i sl. Ako se vrijednosti dobivene proračunom znatno razlikuju od pretpostavljenih, tada je potrebno proračun ponoviti s novo usvojenim vrijednostima.

Vrijednosti zapreminskih gustoća materijala dani su u standardima (HRN U.C7.123). Ako neki materijali nisu dani u standardu tad ih je potrebno izmjeriti.

8.5 KORISNO (PROMETNO) OPTEREĆENJE

Korisna (prometna) opterećenja na mostovima mogu djelovati kao mirna vertikalna opterećenja, ali mogu izazvati i neke dinamičke pojave kao i horizontalne sile (sile kočenja, centrifugalne sile i sl.).

Tip korisnog opterećenja koji se prevodi preko mosta bitno ovisi o svrsi i namjeni mosta. U principu, možemo razlikovati mostove kod kojih su zadani stvarni tereti koje most treba nositi (npr. akvadukti, mostovi za cijevi, mostovi za dizalice i sl.), od mostova kod kojih se veličina pokretnog tereta (kao ni položaj tereta na mostu) ne može točno ocijeniti.

Da bi se oslobodili raznolikosti tereta koji može opteretiti most, prešlo se sa stvarnih opterećenja na zamjenjujuća tipska opterećenja. Ta zamjenjujuća tipska opterećenja uvodimo umjesto tereta koja na bilo koji način na most stvarno nailaze.

U nastavku će biti detaljno riječi o prometnim opterećenjima cestovnih i pješačkih mostova.

8.5.1 Cestovni mostovi

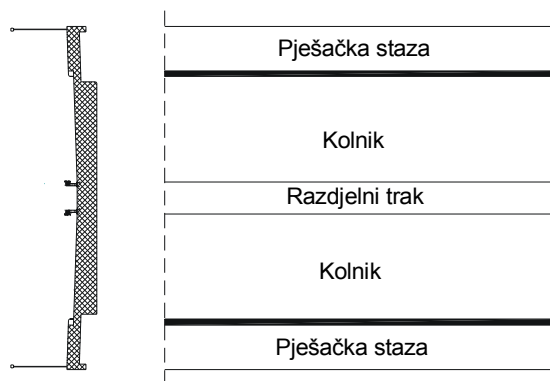
Cestovni mostovi se, prema važnosti ceste na kojoj se nalaze, dijele na tri kategorije:

- I kategorija mostovi na autocestama
- II kategorija mostovi na magistralnim i regionalnim cestama
- III kategorija mostovi na lokalnim cestama

Površinu cestovnog mosta sačinjavaju sljedeći dijelovi (crtež 8.1):

- *Kolnik* dio između rubnjaka namijenjen prolazu vozila koji se sastoji od prometnih, zaustavnih rubnih i biciklističkih trakova
- *Pješačke staze ili staze za službenu uporabu* dijelovi između rubnjaka i unutrašnje strane ograde

– *Razdjelni trak* dio između dijelova kolnika za različite smjerove prometa



Crtež 8.1: Dijelovi površine cestovnog mosta

Kolnik mosta sastoji se od glavnog traka, širokog 3 m i prostora izvan glavnog traka. Glavni trak se smješta u najnepovoljniji položaj za dio koji se promatra, a paralelan je s osi kolnika.

Ako je konstrukcija poprečnog presjeka mosta jedinstvena za cijelu širinu mosta, na cijelom mostu postavlja se samo jedan glavni trak, bez obzira na broj prometnih trakova ili odvojenih smjerova.

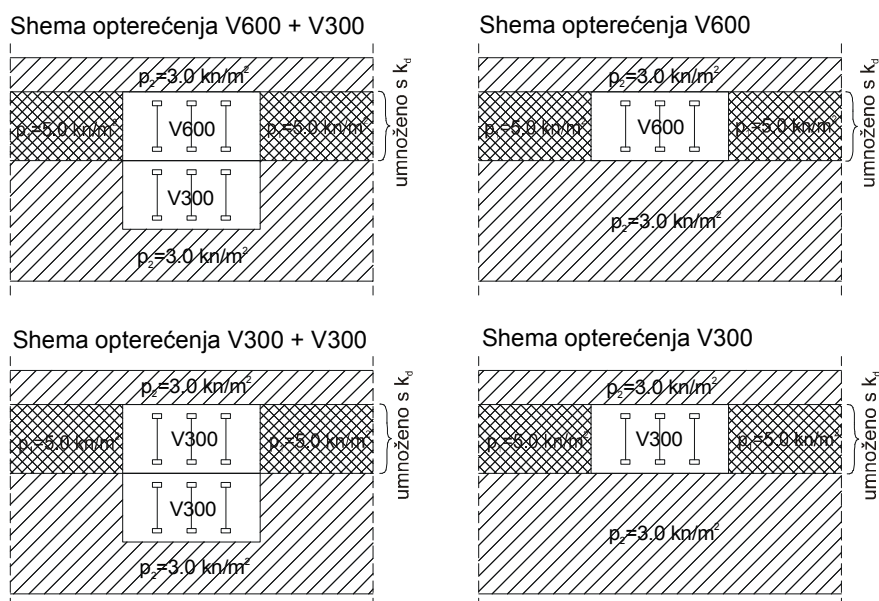
Ako se konstrukcija sastoji od više samostalnih dijelova, za svaki se dio mora predvidjeti po jedan glavni trak.

Most, odnosno njegovi dijelovi, proračunavaju se prema računskoj shemi opterećenja mosta, ovisno o kategoriji mosta (Tablica 8.1).

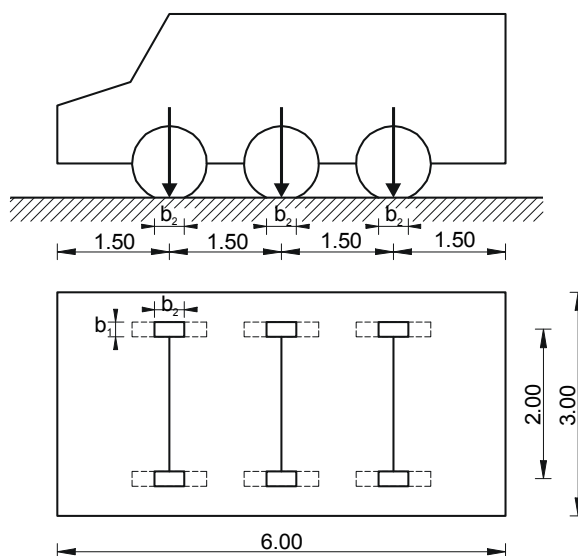
Kategorija mosta		Računska shema
I		V600 + V300
II		V600
III	širina kolnika ≥ 6.0 m	V300 + V300
	širina kolnika < 6.0 m	V300

Tablica 8.1: Kategorija mosta i računska shema opterećenja

Prilikom proračuna glavni trak se na najnepovoljnijem mjestu opterećuje tipskim vozilom, prema crtežu 8.2 i tablici 8.2. Uzdužna os vozila mora biti paralelna s uzdužnom osi traka.



Crtež 8.2: Računske sheme opterećenja



Crtež 8.3: Tipsko vozilo V600 i V300

Glavni trak se opterećuje jednoliko raspodijeljenim opterećenjem p_1 (prema tablici 8.3) ispred i iza tipskog vozila. Ostatak mosta se opterećuje jednoliko raspodijeljenim opterećenjem p_2 .

Vozilo	Ukupni teret (kN)	Teret pojedinog kotača (kN)	Širina nalijeganja kotača (m)	
			b1	b2
V600	600	100	0.60	0.20
V300	300	50	0.40	0.20

Tablica 8.2: Težina i širina nalijeganja tipskog vozila

Vozilo	Ukupna težina vozila (kN)	Zamjenjujuće jednoliko raspodijeljeno opterećenje p^* (kN)	Jednoliko raspodijeljeno opterećenje glavnog traka p_1 (kN/m ²)	Jednoliko raspodijeljeno opterećenje izvan glavnog traka p_2 (kN/m ²)
V600	600	33.3	5.00	3.00
V300	300	16.7	5.00	3.00
*) Opterećenje p je zamjenjujuće opterećenje za tipsko vozilo				

Tablica 8.3: Jednoliko raspodijeljeno opterećenje

Tipsko vozilo može biti smješteno na kolniku tako da kotačima dodiruje rubnjak. Površina kolnika izvan glavnog traka opterećuje se jednoliko raspodijeljenim opterećenjem p_2 (prema tablici 8.3) u kombinaciji s ostalim prometnim opterećenjem (crtež 8.2). Sve ostale prometne površine između kolnika i unutarnjih rubova ograda opterećuju se također jednoliko raspodijeljenim opterećenjem p_2 (prema tablici 8.3) u kombinaciji s ostalim prometnim opterećenjem (crtež 8.2).

Sva korisna opterećenja koja djeluju rasterećujuće ne uzimaju se u obzir pri proračunu. Pojedini kotači tipskog vozila ne smiju se izostaviti iz proračuna.

Pri proračunu pojedinih dijelova mosta (npr. dijelova pješačkih staza, ploča, poprečnih nosača i dr.) uzima se jednoliko raspodijeljeno opterećenje $p_3=5.00$ kN/m². Pješačke staze koje nisu osigurane odbojnim ogradama (odbojnicima) protiv nalijetanja vozila, kod kojih je visina rubnjaka manja od 20 cm iznad površine kolnika, opterećuju se pojedinačnim opterećenjem $P=50$ kN bez jednoliko raspodijeljenog opterećenja s površinom nalijeganja 0.30×0.30 m.

Sva korisna opterećenja u glavnom traku mosta, koja se unose u proračun svih dijelova mosta osim krajnjih i srednjih stupova i njihovih temelja, moraju se povećati množenjem s dinamičkim koeficijentom k_d . Proračun ležaja, kvadara i ležajnih greda obavlja se s tako uvećanim opterećenjem.

Dinamički koeficijent za cestovne mostove izračunava se prema izrazu:

$$k_d = 1.4 - 0.008 L$$

gdje je L raspon koji se proračunava. Kod nosača koji idu preko više otvora sa zglobovima ili bez zglobova to je raspon u kojem se nalazi tipsko vozilo. Pri prijenosu sile u dva smjera ili više smjerova to je najmanji raspon. Ako najmanji raspon iznosi najmanje 0.7 najvećeg raspona, za L se smije uzeti aritmetička sredina svih raspona.

8.5.2 Pješački mostovi

Korisno opterećenje za pješačke mostove uzima se kao jednoliko raspodijeljeno opterećenje $p = 5.00$ kN/m² i ne množi se s dinamičkim koeficijentom.

Ako je raspon nosivih elemenata mosta veći od 10 m, dopušteno je smanjenje korisnog opterećenja na $p = 5.5 - 0.05 L$, gdje je L raspon u metrima.

U tom se slučaju za smanjena opterećenja ne smije uzeti vrijednost manja od $p = 4.00$ kN/m².

8.5.3 Mostovi za željeznički i mješoviti promet

Posebnost željezničkih mostova je, da je na njima položaj korisnog tereta u poprečnom presjeku mosta točno određen i nepromjenjiv. Uz to je težina vagona mnogo ujednačenija nego težine cestovnih vozila, pa je lakše ustanoviti veličinu stvarnog opterećenja.

Za određivanje korisnog tereta željezničkih vagona i lokomotiva, neophodno je poznavati veličinu osovinske sile, razmak i broj osovina, raspored vagona u kompoziciji vlaka te mogućnost prekida sheme i sl. Za razne vrste željeznica postoje i različiti podaci, te različita tipska osovinska opterećenja (o kojima ovdje neće biti razmatrano).

Mostovi mješovite namjene s više kolosijeka i odvojenim prometnim površinama za cestovni i tračnički promet moraju se provjeriti na istovremeno opterećenje korisnim teretom za cestovne mostove i za mostove za tračnička vozila.

Korisno opterećenje za gradski tračnički promet definira korisnik opterećenja.

8.6 SILE OD PREDNAPREZANJA

Sile od prednaprezanja, kao i sve popratne pojave (gubici sile i sl.), u proračun se uzimaju prema vrsti i načinu prednaprezanja te materijalu od kojeg se konstrukcija izvodi.

8.7 DJELOVANJA ZBOG SKUPLJANJA (BUBRENJA) I PUZANJA MATERIJALA

Sile koje nastaju zbog skupljanja (u nekim slučajevima bubrenja) i puzanja materijala utvrđene su normativima za beton i armirani beton. Prilikom razmatranja pojave skupljanja, kao i pojave puzanja moraju se uzeti u obzir njihove najmanje i najveće vrijednosti, ovisno o vremenu izgradnje mosta i (posebno bitno za puzanje) trenutku opterećivanja mosta (otpuštanju skele).

Za mostove od armiranog betona ova se djelovanja smatraju dopunskim.

8.8 TEŽINA VODOVA

Težina vodova uzima se u proračun za svaki pojedinačni vod kao funkcija njegovog položaja na mostu. Pri određivanju sila od vodova valja imati na umu da osim same težine vod može uzrokovati i skretne sile (cjevovodi), sile od promjene temperature, trenje na ležajevima i sl.

8.9 TLAK TLA

8.9.1 Općenito

Kad govorimo o utjecaju okolnog tla na konstrukcije, obično se to djelovanje dijeli u tri podgrupe:

- *vertikalni tlak tla* predstavlja opterećenje težine tla na horizontalne ili kose plohe mosta koje su zatrpane tлом;
- *aktivni tlak tla* je opterećenje koje tlo pravi na most naslanjajući se na njega;
- *pasivni tlak tla* je opterećenje koje tlo pravi na most kada se most naslanja na tlo.

Utjecaj pokretnog opterećenja koja nailaze na sloj tla uvodimo u proračun bez dinamičkog koeficijenta, te vršimo rasprostiranje po dubini prema pravilima geomehanike.

Potporne konstrukcije mosta moraju se dimenzionirati na tlak tla koji nije manji od 1/2 ekvivalentnog hidrostatičkog opterećenja.

Općeniti prikaz djelovanja tla redovito se odnosi za stanje na jediničnoj duljini plohe na kojoj tlo djeluje. Međutim, često se zaboravlja da su dijelovi mosta cjelovite konstrukcije (npr. upornjak s krilima), pa takvo razmatranje može dati predimenzionirane konstrukcije. Zbog toga je uvijek preporučljivo promatrati čitav dio konstrukcije.

8.9.2 Vertikalni tlak tla

Tlo koje se nalazi iznad pojedinih dijelova mosta, npr. povrh nagnutih ploha zidova, iznad svodova i sl., djelovat će na taj dio objekta kao stalni teret. Pri tome moramo imati na umu da, ako je taj dio tla visok, treba u proračun uvesti djelovanje rasteretnog svoda, koji će se prirodno pojaviti u tlu, pa će na objekt djelovati samo tlo ispod svoda.

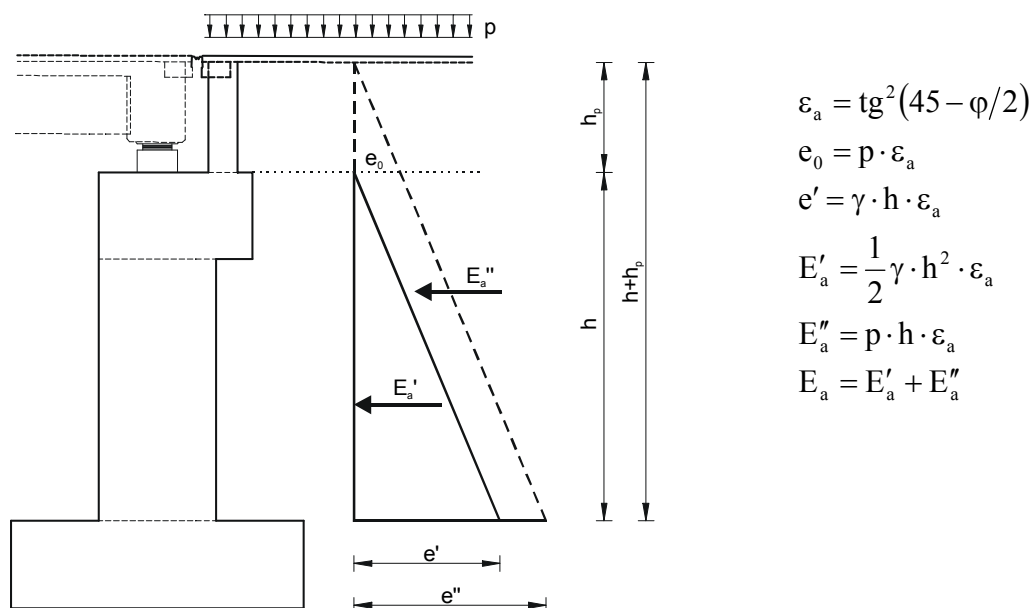
Dijelove mosta koji će u konačnici biti zasuti tлом (tj. na koje će djelovati vertikalni tlak tla) moramo kontrolirati i u fazama izgradnje, kada ti dijelovi nisu opterećeni tлом (ako je to stanje mjerodavno). Također moramo imati u vidu da sloj tla može biti iz bilo kojeg razloga uklonjen, te je potrebno prekontrolirati i takvu situaciju.

8.9.3 Aktivni tlak tla

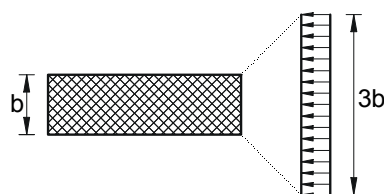
Upornjake i stupove mosta uvijek je potrebno provjeriti i na aktivni tlak tla. U nekim okolnostima (okvirni i lučni sustavi) aktivni tlak tla je mjerodavan i za glavne nosače mosta.

Veličina i djelovanje aktivnog tlaka tla na plohu zida upornjaka prikazano je na crtežu 8.4.

Ako je upornjak s propuštenim nasipom, tada djelovanje aktivnog tlaka tla na pojedinačne stupce treba računati kako je prikazano na crtežu 8.5.



Crtež 8.4: Aktivni tlak tla na upornjak



Crtež 8.5: Aktivni tlak tla na pojedinačne stupce upornjaka

8.9.4 Pasivni tlak tla

Pasivni tlak tla redovito se izostavlja iz proračuna mostova, međutim postoje neki slučajevi kad je potrebno i njega uzeti u obzir. Razlog izostavljanja pasivnog tlaka tla leži u činjenici da je njegova pojava vezana uz prethodno pomicanje dijelova mosta, što redovito nije dopušteno.

8.10 OPTEREĆENJE OD VODE

Djelovanje vode na nosivu konstrukciju mosta može se očitovati kao djelovanje mirne vode, djelovanje tekuće vode i uzgon.

8.10.1 Djelovanje mirne vode (hidrostatičko djelovanje)

Djelovanje mirne vode u proračun mostova se uključuje kao mirno opterećenje i to samo onda kada povećava ukupno djelovanje. Ako voda djeluje rasterećujući u proračun se uzima samo ako postoji dokaz da je djelovanje stalno. Djelovanje mirne vode računa se prema izrazu

$$p_{hs} = \gamma_v \cdot h$$

gdje je:

- p_{hs} , hidrostatički tlak vode na visini h
- γ_v , specifična gustoća vode ($=10.0 \text{ kN/m}^3$)

8.10.2 Djelovanje tekuće vode (hidrodinamičko djelovanje)

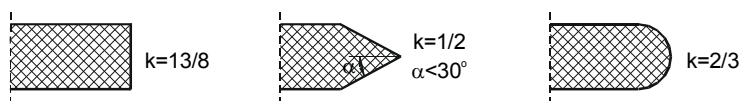
Djelovanje tekuće vode u proračun mostova se uključuje kao statička (mirna) horizontalna sila, prema izrazu

$$p_{hd} = 0.515 \cdot k \cdot v^2$$

gdje je:

- p_{hd} , tlak vode u $[\text{kN/m}^2]$
- k , konstanta, ovisna o obliku stupa (vidi crtež 8.6)
- v , brzina vode u $[\text{m/s}]$

Ovako dobivena sila p_{hd} je sila samo od dinamičkog djelovanja vode i u proračunu joj je potrebno dodati silu od mirnog djelovanja vode p_{hs} .



Crtež 8.6: Vrijednosti koeficijenta k za različite oblike stupova

8.10.3 Uzgon

Za proračun utjecaja uzgona potrebno je posebno uzeti najvišu i najnižu razinu vode (ili podzemne vode), te odabrati onaj slučaj koji daje mjerodavnije sile.

8.11 OPTEREĆENJA NA OGRADU MOSTA

Ograde mogu, prema prilikama, biti opterećene mirnim silama, ali isto tako mogu biti opterećene udarom vozila. Razlike između tih opterećenja su vrlo velike, pa ih je potrebno posebno promatrati.

8.11.1 Djelovanje ljudi na ogradu

Opterećenje na ogradu pješačkih mostova ili pješačkih staza uzima se u proračun kao mirno linijsko opterećenje koje djeluje u visini gornjeg ruba ograde u vertikalnom i horizontalnom smjeru.

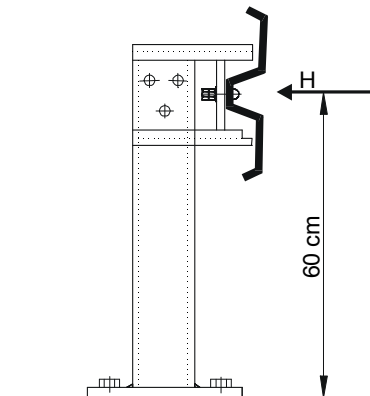
Veličina opterećenja na ogradu, kako je prikazano na crtežu 8.7, uzima se u horizontalnom smjeru $p_h = 1.0 \text{ kN/m}$, a u vertikalnom smjeru $p_v = 1.0 \text{ kN/m}$.



Crtež 8.7: Opterećenje na ogradu

8.11.2 Udar vozila

Udar vozila u odbojnu ogradu (odbojnik) uzima se kao mirna koncentrirana horizontalna sila koja djeluje na 60 cm iznad površine kolnika uz rubnjak. Veličina sile je: $H=100.0$ kN za I i II kategoriju mosta (ceste), tj. $H=50.0$ za III kategoriju mosta (crtež 8.8).



Crtež 8.8: Sila udara vozila u odbojnik

Ograda za pješake na koju je pričvršćena i odbojna ograda mora se provjeriti na oba slučaja djelovanja, ali ne istovremeno.

8.11.3 Ostala djelovanja na ogradu

Ako se na ogradu postavlja zaštita od vjetra, ograda se proračunava i na silu djelovanja vjetra na neopterećeni most. U iznimnim slučajevima, veličina djelovanja vjetra određuje se posebnim ispitivanjima i mjerenjima (na mjestu lokacije mosta).

U proračun je potrebno uključiti i sva posebna opterećenja na ogradu mosta, ako postoje, kao što su npr. opterećenja od rasvjetnih tijela ili stupova, zaštitne mreže, kolica za pregled i sl.

8.12 DEFORMACIJE NASTALE KAO POSljedICA NAČINA GRADNJE

Mostovi, kao i sve ostale građevine ne nastaju odjednom već se grade duži vremenski rok. Prilikom izgradnje dolazi do promjene statičkog sustava kao i sila koje djeluju na konstrukciju. Pri proračunu potrebno je pravilno predvidjeti sve faze izgradnje i konstrukciju provjeriti u svim mogućim slučajevima.

8.13 DJELOVANJE PROMJENE TEMPERATURE

Ovdje se diskutira samo o prirodnim (klimatskim) promjenama temperature. Stanja pri požarima i sličnim pojavama treba promatrati zasebno.

Poznato je da promjene temperature uzrokuju promjenu volumena, a u pojedinim konstruktivnim sustavima mogu uzrokovati i promjenu sila u sustavu. Veličina sila koje će se pojaviti ovise o veličini promjene temperature, gradivu iz kojeg je most napravljen te specifičnosti mosta. Dakako, promjene temperature ovise i o nizu drugih faktora koje je teško vrednovati, kao što su: direktna izloženost sunčevim zrakama pojedinih dijelova ili cijelog mosta, strujanju zraka na položaju mosta, raslinju na užoj i široj lokaciji, vrsti i boji tla i sl.

Granice promjene u raznim su predjelima različite. Obično se računa s podacima baziranim na osrednjenim vrijednostima dotične pokrajine/države, ali prema okolnostima treba izabrati vrijednosti koje odgovaraju stvarnim mjesnim prilikama.

Promjene temperature općenito možemo podijeliti na:

- jednolika promjene temperature;
- nejednolika promjena temperature u jednom promatranom presjeku mosta;
- nejednolika promjena temperature u pojedinim konstrukcijskim dijelovima mosta koji nemaju kontinuiranu povezanost.

8.13.1 Jednolika promjena temperature

U konstrukciji koja se jednoliko zagrijava ili hlada nastat će jednolika promjena temperature. Promjene sila u konstrukciji pojavit će se samo onda kada se konstrukcija ne može slobodno stezati ili širiti. Veličina djelovanja jednolike promjene temperature izračunava se prema izrazu

$$\Delta L = k_t \cdot \Delta t \cdot l$$

gdje je:

- ΔL , promjena duljine promatranog dijela
- k_t , koeficijent temperaturnog istezanja (tablica 8.4)
- Δt , promjena temperature (tablica 8.5)
- l , duljina promatranog dijela

Materijal	k_t [$1/^\circ\text{C}$]
Kamen raznih vrsta	$1.0 \cdot 10^{-5}$
Beton	$1.0 \cdot 10^{-5}$
Zid od prirodnog kamena	$0.6 \cdot 10^{-5}$
Zid od opeke	$0.6 \cdot 10^{-5}$
Čelik	$1.2 \cdot 10^{-5}$
Lijevano željezo	$1.0 \cdot 10^{-5}$
Legirani aluminij	$2.0 \cdot 10^{-5}$

Tablica 8.4: Koeficijent temperaturnog istezanja

Osnovni materijal mosta	Jednolika promjena temperature [$^\circ\text{C}$]				Nejednolika prom. temperature [$^\circ\text{C}$]
	Najviša temp.	Referentna temp.	Najniža temp.	Promjena temp.	
Metali	+45	+10	-25	± 35	15
Spregnute konstrukcije	+45	+10	-25	± 35	15
Beton (AB i PNB)	+35	+10	-15	± 25	5
Kamen	+30	+10	-10	± 20	10

Tablica 8.5: Jednolika i nejednolika promjena temperature

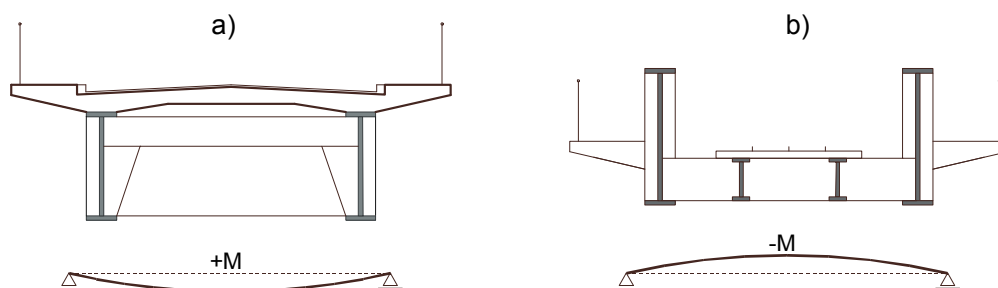
Djelovanja temperature na drvene mostove su zanemariva.

Koeficijenti temperaturnog istezanja za materijale koji nisu navedeni u tablici 8.4 se dobivaju ispitivanjem ili uzimaju iz literature.

8.13.2 Nejednolika promjena temperature

Različite promjene temperature pojedinih elemenata konstrukcije ili pojedinih dijelova tih elemenata uvijek izazivaju sile u sistemu nosača. Dva suprotna primjera prikazana su na crtežu 8.9.

Čelični most sa spregnutom ab pločom može imati dvije poprečne dispozicije. Kod prve (8.9a) kolnik je nad nosačima, gornji pojas nosača u vječitoj sjeni i ab ploča odvodi toplinu iz gornjeg pojasa. Donji pojas se izdužuje. Kod druge dispozicije (8.9b) kolnik je upušten u nosače, pa je gornji pojas nosača izložen direktnom zagrijavanju sunca, a donji pojas je u vječitoj sjeni. Gornji pojas se izdužuje.



Crtež 8.9: Sile u sustavu nastale nejednolikim djelovanjem temperature

Nejednolika promjena temperature u pojedinim presjecima mosta uzima se prema tablici 8.5.

8.13.3 Montažna temperatura

Izravan utjecaj na stanje u konstrukciji ima izbor početnog (nultog) stanja, tj. onog stanja (ili one temperature) kada sklapamo čitavu konstrukciju u njeno konačno stanje. Temperaturu u tom trenutku nazivamo montažna temperatura (referentna temperatura). Možemo prihvatiti da su sile zbog temperaturnih utjecaja u konstrukciji jednake nuli.

Prikladnim izborom vremena završetka radova možemo kontrolirati temperaturne utjecaje u konstrukciji.

Dakako da unutrašnje utjecaje moramo provjeriti prema stvarnoj montažnoj temperaturi koja se može razlikovati od referentne dane u tablici 8.5.

8.13.4 Proračunsko značenje promjene temperature

Prema činjenici da je promjena temperature prisutna u svakoj konstrukciji, to bi smo djelovanje mogli ubrojiti u osnovna opterećenja, ali se to ne čini jer su ekstremne temperature relativno rijetka pojava koja obično nastaje u razdoblju od nekoliko godina. Uz to, zagrijavanje i hlađenje su postupne pojave, pa materijal ima vremena za prilagodbu novom stanju, a također i između minimalnih i maksimalnih utjecaja je često duži period vremena.

U svakom slučaju uvijek valja uskladiti proračun sa stvarnim stanjem na terenu, pogotovo kad se projektira od materijala koji su osjetljivi na nagle promjene temperature.

8.13.5 Značenje promjene temperature za rješenja u konstrukciji

Utjecaj promjene temperature u konstrukciji znatno je širi od njenog prikaza djelovanja kao opterećenja. pri rješavanju određenih dijelova i detalja na konstrukciji valja uvijek imati na umu djelovanje temperaturnih promjena. Posebno osjetljiva mjesta su ležajevi, koji moraju omogućiti nesmetano širenje i skupljanje glavnih nosača ili moći primiti dio sile koja nastaje zbog spriječenog širenja/skupljanja. Nadalje, drugo osjetljivo mjesto je prijelazna naprava koja također mora dozvoliti slobodno širenje/skupljanje.

8.14 OPTEREĆENJE OD VJETRA

Vjetar je kretanje zračne mase i u osnovi predstavlja dinamičko opterećenje na konstrukcije. No, za veliku većinu mostova vjetar ne predstavlja dominantno opterećenje, pa se jednostavno njegovo dinamičko djelovanje može prevesti na čisto statičko.

Dakako mostovi koji su osjetljivi na vjetar, posebice ovješeni i viseći, kod kojih djelovanje vjetra može proizvesti titranje i neujednačene deformacije, potrebno je posebno analizirati na djelovanje vjetra i to prema stvarnim podacima mogućeg djelovanja vjetra na budućoj lokaciji mosta. Često se za mostove takvog tipa vrše i modelska ispitivanja u vjetrovnim tunelima.

U ovom podpoglavlju ograničit ćemo se na statičko djelovanje vjetra.

Veličina djelovanja vjetra na mostove izračunava se prema izrazu

$$w = q_{m,T,H} \cdot G_h \cdot C_f \cdot A_s$$

Ne ulazeći u pobliže značenje koeficijenata mogu se navesti veličine djelovanja vjetra za cestovne mostove prema DIN propisima, koji se najčešće koriste i u nas. Postoje dvije veličine djelovanja vjetra: za neopterećene (prazne) mostove $w=2.50 \text{ kN/m}^2$, i za opterećene (pune) mostove $w=1.25 \text{ kN/m}^2$.

Smjer djelovanja vjetra se uzima horizontalan.

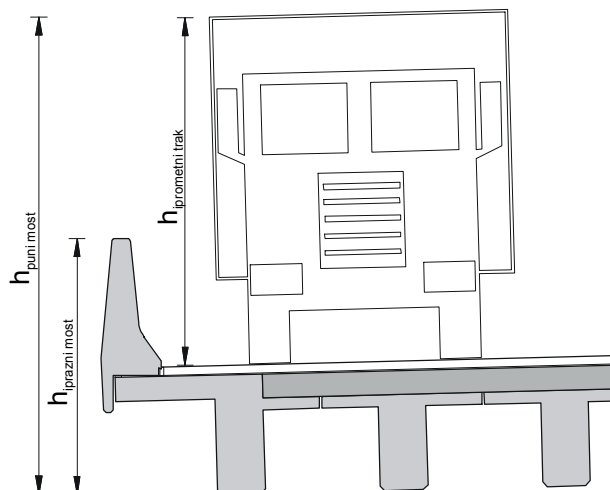
Most se kontrolira na djelovanje vjetra okomito na uzdužnu os mosta.

Vjetar na most djeluje na ukupnu visinu kolovozne konstrukcije u poprečnom presjeku, ako je most prazan, tj. na visinu konstrukcije i visinu prometnog traka, ako je most pun. Visina prometnog traka za razne tipove mostova navedena je u tablici 8.6.

Vrsta mosta prema tipu prometa na njemu	Visina prometnog traka [m]
Cestovni mostovi (s tračničkim vozilima ili bez njih)	3.50
Pješački i biciklistički mostovi	1.80
Željeznički mostovi	3.80

Tablica 8.6: Visina prometnog traka

Efektivne visine pri djelovanju vjetra na prazan i pun most prikazane su na crtežu 8.10. Ako se kontrolira djelovanje vjetra na prazan most, tada se sile od vjetra kombiniraju sa svim ostalim opterećenjem ali ne i s korisnim (pokretnim) opterećenjem. Kod djelovanja sila na pun most, potrebno je odrediti kombinacije opterećenja vjetrom sukladno kombinacijama vertikalnog pokretnog tereta.



Crtež 8.10: Efektivne visine pri djelovanju vjetra na most

8.15 OPTEREĆENJE SNIJEGOM

Djelovanje snijega u proračun se uzima kao mirno (statičko) opterećenje. Veličina opterećenja određena je lokacijom na kojoj se most nalazi i nadmorskom visinom. Veličine su navedene u tablici 8.7.

Mjesto	Opterećenje snijegom [kN/m ²]
Obalno područje do 200 m.n.m.	0.00
Obalno područje iznad 200 m.n.m. Kontinentalno područje	1.00
Kontinentalno područje od 200 do 500 m.n.m.	2.00
Kontinentalno područje iznad 500 m.n.m.	2.50

Tablica 8.7: Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom u ukupnom opterećenju mosta redovito nije mjerodavno, pa se njegovo djelovanje može prikazati kao jednoliko raspodijeljeno po gornjoj plohi mosta, tj. može se znatno pojednostavniti.

Opterećenje snijegom se ne uzima u obzir zajedno s prometnim opterećenjem, jer most zatrpan snijegom vozila mogu prolaziti samo sporo i na većim razmacima.

8.16 OPTEREĆENJE LEDOM

Djelovanje leda je opterećenje čija veličina ovisi o položaju mosta. Na velikom broju vodotoka led se nikad ne pojavljuje pa se ovo opterećenje ne uzima u obzir. No, na nekim vodotocima led može uzrokovati vrlo veliko opterećenje na stupove. Pri tome se moraju uzeti u obzir postojeći uvjeti i očekivani način djelovanja leda.

Način djelovanja leda:

- dinamičko djelovanje leda koje nastaje od pokretnih ploča leda ili plutajućih komada leda nošenih vodenom strujom ili vjetrom;
- statičko djelovanje leda zbog toplinskih kretanja velikih stacionarnih ledenih površina;
- statičko djelovanje leda koje je prouzročeno zastojem leda;
- povećanje vertikalnog opterećenja stupova od prijanjajućeg leda na rijekama s promjenjivom razinom.

Za dinamičko djelovanje leda horizontalna sila tlaka leda na stupove izračunava se prema izrazu

$$F_L = C_n \cdot p \cdot t \cdot B \cdot C_k$$

gdje je:

- F_L , sila leda u [kN]
- C_n , koeficijent koji ovisi o kutu kojeg čelo stupa zatvara s vertikalom (tablica 8.8)
- p , efektivna čvrstoća leda, $p=750 \text{ kN/m}^2$
- t , debljina ledenog sloja na kontaktu sa stupom [m]
- B , širina stupa ili promjer čela stupa (ako je čelo okruglog oblika) na mjestu djelovanja leda [m]
- C_k , korektivni koeficijent koji ovisi o odnosu B/t prema tablici 8.9

Kut čela stupa prema vertikali	C_n
0° - 15°	1.00
15° - 30°	0.75
30° - 45°	0.50

Tablica 8.8: Veličina koeficijenta C_n

B/t	C_k
0.5	1.8
1.0	1.3
1.5	1.1
2.0	1.0
3.0	0.9
4.0 i više	0.8

Tablica 8.9: Veličina koeficijenta C_k

Ako su stupovi mosta postavljeni tako da je njihova uzdužna os paralelna sa smjerom djelovanja leda, sila koja se dobije prema gornjem izrazu uzima se u tom smjeru. Pri tome se računa da zajedno s njom djeluje i sila okomito na taj smjer, koja ne smije iznositi manje od 15% uzdužne sile.

Ako se uzdužna os stupa ne poklapa sa smjerom djelovanja leda ili ako je smjer djelovanja leda promjenjiv, ukupna sila se izračunava prema gornjem izrazu, a zatim razlaže na komponente. Sila okomita na uzdužnu os stupa ne smije biti manja od 20% ukupne sile.

U ovu grupu opterećenja mogu se svrstati i djelovanja drugih predmeta koje vodotok nosi. Pri tome će, prema prilikama, biti potrebno i predvidjeti opterećenje od nagomilavanja raznih predmeta uz stupove.

Na mostovima kod kojih očekujemo značajno opterećenje ledom uvijek je dobro predvidjeti ledobrane i ledolome, dakle posebne dijelove mosta koji će preuzeti opterećenje ledom.

8.17 OPTEREĆENJA VEZANA S KRETANJEM

Posebnu skupinu opterećenja čine djelovanja vezana s pokretanjem, kretanjem i zaustavljanjem vozila, posebno na željezničkim mostovima gdje se javljaju bočni udari na glavi tračnice, centrifugalne sile pri prolasku vlakova kroz zavoje te vučne sile i sile od kočnja. Na cestovnim mostovima takve sile su slabije, a na pješačkim ih nema.

Za cestovne mostove ove sile se uzimaju kao mirno (statičko) opterećenje I pri proračunu se uzima kao horizontalna sila koja djeluje u visini površine kolnika u smjeru paralelnom osi mosta.

Veličina sile nastale zaustavljanjem vozila (kočnjem) uzima se u iznosu jedne dvadesetine ($1/20$) jednoliko raspodijeljenog korisnog opterećenja veličine $p=3.00 \text{ kN/m}^2$ na cijeloj površini kolnika mosta (između rubnjaka) kolnik se opterećuje na duljini između dvaju susjednih prekida rasponskog sklopa. Najveća duljina kolnika koja se opterećuje je 200 m.

8.18 UDARI VOZILA I PLOVNIH OBJEKATA

Na mostovima na kojima i ispod kojih prolaze vozila može se dogoditi da vozilo skrene s kolnika i udari u konstrukciju. Takav udar može biti vrlo snažan i u prvom redu potrebno se pobrinuti da se takav udar ne dogodi. Pošto je udar vozila izvanredno opterećenje, u proračunskim stanjima je dopušteno dosezanje granica u kojima materijal biva nepovratno oštećen

Udar vozila smatra se mirnim opterećenjem i u proračun se uzima kao horizontalna sila koja djeluje na 120 cm iznad površine kolnika. Veličina sile udara je dana u tablici 8.10.

Smjer	Sila udara [kN]
Smjer vožnje	± 1000
Okomito na smjer vožnje	± 500

Tablica 8.10: Veličina sile udara vozila u konstrukciju mosta

Rubnjaci i metalne odbojne ograde na mostovima ili ispod njih ne smatraju se zaštitnim uređajima od udara vozila.

Udar plovnih vozila u stupove u rijeci (moru) uzima se u obzir pri proračunu kao horizontalna sila koja djeluje na koti maksimalne plovne razine vode. Za određivanje veličine sile potrebno je poznavati veličinu brodova koji će prolaziti ispod mosta.

8.19 POTRES

Pod pojmom potres obično podrazumijevamo pomicanje Zemljinog tla i nuspojave koje nastaju na površini. O djelovanju potresa postoji opsežna literatura i smjernice prema kojima se preporuča graditi u područjima gdje su potresi česta i značajna pojava. Dovoljno je poznato da djelovanje potresa može biti vrlo razorno.

Mostovi su oduvijek građeni na način da mogu odolijevati znatnim horizontalnim silama. Zato su mostovi već pri proračunu na ostala opterećenja ispunili određenu sigurnost prema potresu. Pri tome na najteže moguće djelovanje potresa nema smisla ni računati jer ne postoji način da sagradimo most (niti bilo koju drugu građevinu) koja se ne bi srušila na npr. otvorenom rasjedu.

Pri djelovanju potres razmatramo dva projektna potresa P_1 i P_2 .

Potres P_1 predstavlja potres nakon kojeg most mora ostati u operativnom stanju bez oštećenja konstruktivnog sklopa i s malim ili nikakvim oštećenjem nekonstruktivnih elemenata. U slučaju potresa P_2 most može doživjeti izvjesna oštećenja konstruktivnih i nekonstruktivnih elemenata ali ne smije doći do djelomičnog ili potpunog rušenja građevine.

Djelovanje potresa s obično promatra kao mirna sila, tj. Vršiti se proračun tzv. *Metodom ekvivalentne statičke analize*. Značajnije mostove uvijek treba analizirati i nekim postupkom (Modalna analiza, Spektralna analiza, Step by step postupak) koji će dati realističniji odgovor ponašanja konstrukcije.