

REPUBLIKA SRBIJA
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

9. PROJEKTOVANJE MOSTOVA

9.2 NOSEĆI (STATIČKI) SISTEMI MOSTOVA

BEOGRAD, 2012.

Izdavač: Javno preduzeće Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd

Izdanja:

Br.	Datum	Opis izmena i dopuna
1	30.04.2012	Prvo izdanje

SADRŽAJ

9.2.1	UVODNI DEO	1
9.2.1.1	PREDMET SMERNICE	1
9.2.1.2	REFERENTNI NORMATIVI	1
9.2.1.3	TERMINOLOGIJA	2
9.2.1.4	KORIŠĆENE SKRAĆENICE	3
9.2.2	GREDNI SISTEMI MOSTOVA	4
9.2.2.1	UVOD	4
9.2.2.2	STATIČKI SISTEMI I KONSTRUKCIJE GREDNIH MOSTOVA	4
9.2.2.3	OBLIKOVANJE GREDNIH MOSTOVA	7
9.2.3	OKVIRNI (RAMOVSKI) SISTEMI MOSTOVA	9
9.2.3.1	UVOD	9
9.2.3.2	STATIČKI SISTEMI I KONSTRUKCIJE OKVIRNIH MOSTOVA	9
9.2.4	LUČNI SISTEMI MOSTOVA	12
9.2.4.1	UVOD	12
9.2.4.2	UKLJEŠTENI ARMIRANO BETONSKI LUKOVI	12
9.2.4.3	ELASTIČNO UKLJEŠTENI AB LUKOVI	14
9.2.4.4	DVOZGLOBNI ČELIČNI (SPREGNUTI) LUKOVI	14
9.2.5	VIŠEĆI SISTEMI MOSTOVA	17
9.2.5.1	UVOD	17
9.2.5.2	KONSTRUKTIVNA I STATIČKA KONCEPCIJA VIŠEĆIH MOSTOVA	17
9.2.6	SISTEMI MOSTOVA SA KOSIM ZATEGAMA	19
9.2.6.1	UVOD	19
9.2.6.2	RAZVOJ MOSTOVA SA KOSIM ZATEGAMA	19
9.2.6.3	GREDE MOSTOVA SA KOSIM ZATEGAMA	21
9.2.6.4	ZATEGE MOSTOVA SA KOSIM ZATEGAMA	22
9.2.6.5	PILONI MOSTOVA SA KOSIM ZATEGAMA	25
9.2.7	KOMBINOVANI SISTEMI MOSTOVA I VARIJANTNA REŠENJA	27

9.2.1 UVODNI DEO

9.2.1.1 Predmet smernice

Mostovi se mogu klasifikovati prema različitim kriterijima: nameni, materijalu, nosećem sistemu, lokaciji, položaju u odnosu na prepreku itd. Za projektovanje, konstruisanje, statičku analizu i eksploataciju najvažnija je podela koja se odnosi na noseće statičke sisteme.

Na osnovu koncepta konstrukcije, oblika, preuzimanja i prenosa sila i uticaja iz noseće konstrukcije u tlo razlikujemo pet osnovnih nosećih statičkih sistema mostova: gredni sistemi, okvirni sistemi, lučni sistemi, viseći

sistemi, sistemi mostova sa kosim zategama i kombinovani sistemi mostova.

Smernica daje osnovne karakteristike svakog nosećeg sistema koje određuju njegovu primenu i ulazne parametre za izbor materijala, konstruisanje i projektovanje.

Posebno se ukazuje na uticaj geološko – morfoloških uslova mikrolokacije i uslova gradnje na izbor nosećeg sistema. Na istoj lokaciji mogući su različiti noseći sistemi i varijantna rešenja u istom nosećem – statičkom sistemu.

9.2.1.2 Referentni normativi

Prilikom korišćenja smernice 9.2 Noseći sistemi mostova treba proučiti i koristiti:

SRDM	9	1	Opšta smernica za projektovanje mostova
SRDM	9	3	Koncipiranje, projektovanje i konstruisanje mostova
SRDM	9	4	Manji mostovi i podvožnjaci
SRDM	9	5	Nadvožnjaci
SRDM	9	6	Mostovi i vijadukti
SRDM	9	7	Rasponske konstrukcije betonskih mostova
SRDM	9	8	Rasponske konstrukcije spregnutih mostova
SRDM	9	9	Stubovi mostova
SRDM	9	10	Prednaprezanje mostova
SRDM	9	11	Tehnologije granje

Zakon o planiranju i gradnji	Sl. glasnik RS 26/09, 88/10, 91/10, 24/11	2009- 2011	Law on Planning and Construction
Zakon o javnim putevima	Sl. glasnik RS 105/05	2005	Law on Public Roads
Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju objekti puta i drugi elementi javnog puta	Sl. glasnik RS 50/2011		Law on Road Safety
Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu	Sl. glasnik 36/2009	2009	Law on Environmental Protection
Zakon o zaštiti prirode	Sl. glasnik 36/09, 88/10, 91/10	2009- 2010	Law of Environmental Protection
Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton – BAB 87	Sl. list SFRJ 07- 719/1	1987	Rule Book on Technical Normatives for Concrete and Reinforced Concrete– BAB 87
Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za prednapregnuti beton	Sl. list SFRJ 51/71	1971	Rule Book on Technical Mesaures and Conditions for Prestressed Concrete

Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličina opterećenja mostova	Sl. list SFRJ 1/91	1991	Rule Book on Technical Normatives for Bridge Loading
Pravilnik o tehničkim normativima za eksploataciju i redovno održavanje mostova	Sl. list SFRJ 20/92	1992	Rule Book on Technical Normatives for Bridge Exploitation and Routine Maintenance
Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata	Sl. list SFRJ 15-295/90	1990	Rule Book on technical Normatives for Foundation of Civil Structures
Pravilnik o tehničkim intervencijama i uslovima za montažu čeličnih konstrukcija	Sl. list SFRJ 61-899/86	1986	Rule Book on Technical Intervention and Condition for Assembling of steel Structures

Evropske norme EC 1-9 detaljno su navedene u SRDM 9.1 Opšta smernica za projektovanje mostova.

9.2.1.3 Terminologija

Objekat je građevina spojena sa tlom, koja predstavlja fizičku, funkcionalnu, tehničko – tehnološku celinu.

Tehnička dokumentacija je skup projekata koji se izrađuje radi: utvrđivanja koncepta objekta, razrade uslova, načina izgradnje objekta i za potrebe održavanja objekta.

Izgradnja objekta je skup radnji koji obuhvata: prethodne radove, izradu i kontrolu tehničke dokumentacije, pripremne radove za građenje, građenje objekta i stručni nadzor u toku građenja objekta.

Građenje jeste izvođenje građevinskih i građevinsko-zanatskih radova, ugradnja opreme.

Objekti na putevima su: mostovi, vijadukti, nadvožnjaci, podvožnjaci, pešački mostovi, pešački prolazi, propusti, konstrukcije u pokrivenim usecima, galerije, tuneli, potporni zidovi i konstrukcije.

Mostovi u širem značenju su svi objekti (mostovi, vijadukti, nadvožnjaci, podvožnjaci) koji služe sigurnom vođenju puteva preko prirodnih i veštačkih prepreka.

Mostovi u užem značenju su objekti koji služe za prelaz puteva preko vodenih prepreke (potoci, reke, kanali, jezera, morski zalivi) sa otvorom $\geq 5,0$ m.

Vijadukti su objekti koji služe za prelaz puteva preko prirodnih, pretežno suvih prepreka, odnosno dolina. Razlikujemo

dolinske vijadukte koji premošćavaju doline i padinske vijadukte koji su locirani paralelno sa padinom doline.

Glavna konstrukcija mosta premošćava aktivno korito širokih (plovnih) reka.

Inundacione konstrukcije premošćavaju inundacione otvore između aktivnog korita i odbrambenih nasipa.

Nadvožnjaci su objekti koji denivelisano prevode M/R/L puteve preko AP VP ili ŽP.

Podvožnjaci su objekti koji denivelisano prevode puteve ispod AP VP ili ŽP.

Rasponska konstrukcija neposredno preuzima saobraćajno opterećenje i statičke i dinamičke uticaje prenosi na potpurnu konstrukciju. RK može da bude izrađena od različitih materijala, različitih statičkih sistema i različitih poprečnih preseka.

Potpornu konstrukciju mostova čine:

- Krajnji - obalni stubovi sa krilnim zidovima
- Srednji - rečni stubovi.

Noseća konstrukcija je zajednički naziv za potpurnu i rasponsku konstrukciju mostova.

Krajnji - obalni stubovi (oporci) podupiru rasponsku konstrukciju na krajevima objekta i obezbeđuju prelaz sa objekta na trup puta.

Srednji - rečni stubovi podupiru rasponsku konstrukciju objekta između krajnjih stubova, ako RK ima dva ili više raspona.

Krilni zidovi su deo konstrukcije krajnjih stubova, a služe za bočno ograničavanje trupa puta na prelazu sa mosta na trup puta.

Temeljenje mostova može da bude:

- plitko temeljenje do dubine 6,00 m na temeljima samcima ili temeljnim trakama i
- duboko temeljenje na bušenim šipovima i (ili) bunarima na dubinama većim od 6,00m m.

Ležišta i zglobovi mostova su konstruktivni elementi koji učestvuju u prenosu vertikalnih i horizontalnih sila i deformacija iz rasponske konstrukcije na potpornu konstrukciju.

Osovina puta na mostu je identična sa osovino trase puta, ali da nije obavezno identična sa osovino RK.

Visina mosta je visina merena od odgovarajuće ravni terena do nivelete objekta.

Svetla visina je slobodna visina od terena (nivoa srednje vode, nivelete donje saobraćajnice) do donje ivice rasponske konstrukcije.

Gredni sistemi mostova su sistemi kod kojih je rasponska konstrukcija odvojena od stubova sa ležištima.

Okvirni (ramovski) sistemi mostova su sistemi kod kojih je rasponska konstrukcija kruto ili zglobovima povezana sa potpornom konstrukcijom.

Lučni sistemi mostova su objekti kod kojih osnovni noseći element ima oblik zakrivljenog nosača – luka ili svoda.

Viseći sistemi mostova su sistemi kod kojih noseću konstrukciju čine parabolni kablovi koji preko pilona i vešaljki nose gredu za ukrućenje koja direktno preuzima pokretno opterećenje.

Sistemi mostova sa kosim zategama su sistemi kod kojih je gredna rasponska konstrukcija pomoću kosih kablova – zatega okačena (elastično poduprta) na pilone.

Manji mostovi su objekti sa ukupnom dužinom do 35 m (50 m).

Srednji mostovi su objekti sa ukupnom dužinom do 150 m.

Veći mostovi su objekti sa ukupnom dužinom do 300 m.

Veliki mostovi su objekti sa ukupnom dužinom većom od 300 m.

Niski mostovi su objekti sa niveletom koja je do 10 m iznad terena.

Srednje visoki mostovi su objekti sa niveletom koja je 10 – 30 m iznad terena.

Visoki mostovi su objekti sa niveletom koja je 30 – 60 m iznad terena.

Jako visoki mostovi su objekti sa niveletom koja je više od 60 m iznad terena (mereno od osnovne ili prosečne ravni terena).

Konstruktivna visina je visina rasponske konstrukcije koja može biti promenljiva ili konstantna.

Zaštitna visina ispod mosta je visinska razlika od najniže donje površine rasponske konstrukcije do merodavnog nivoa visoke vode.

Ukupna dužina mosta je odstojanje između osovina ležišta ili osovina krajnjih stubova, kod okvirnih konstrukcija bez ležišta.

Ukupna širina mosta je odstojanje između spoljašnjih ivica ivičnih venaca.

Statički rasponi mostova su razmaci između osovina susednih stubova.

Niveleta mosta je identična sa niveletom trase puta na mostu.

9.2.1.4 Korišćene skraćenice

AP	– autoput
AB	– armirani beton, armirano betonski (most, konstrukcija)
ABP	– armirano betonski prednapregnuti (most, konstrukcija)
VP (BP)	– put sa više traka (brzi put)
M/R/L	– magistralni, regionalni i lokalni putevi
BM	– betonski most
M	– spregnuti most
RK	– rasponska konstrukcija mosta
BIM	– betonski integralni most
BRK	– betonska rasponska konstrukcija
SRPS	– srpski standard
EC	– Evrokod – evropski standard
EN	– evropska norma
ŽP	– železnička pruga

9.2.2 GREDNI SISTEMI MOSTOVA

9.2.2.1 Uvod

Više od 80 % svih izgrađenih putnih mostova su gredni betonski mostovi. Gredni mostovi su doživeli najveću primenu razvojem prednapregnutog betona i montažne izgradnje.

Nekritično prihvatanje svih prednosti i inovacija koje su došle sa primenom prednapreznog armiranog betona i montažne izgradnje imalo je za posledicu smanjenje nosivosti i trajnosti izgrađenih mostova i znatne materijalne izdatke za rehabilitaciju.

Osnovna karakteristika grednih sistema je odvojenost gornje konstrukcije od stubova i prenos opterećenja gornje konstrukcije na stubove preko ležišta.

U statičkom pogledu razlikujemo gredne mostove statički određenih sistemima i statički neodređenih sistema.

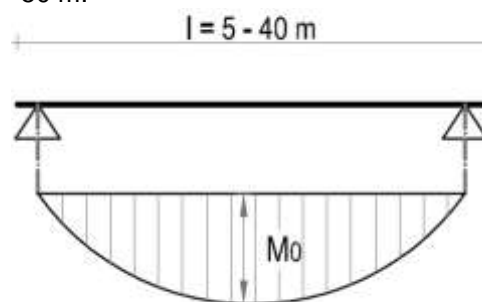
Gredni sistemi odgovaraju za sve materijale osim kamena (drvo, armirani i prednapregnuti beton, čelik sa ili bez spreznjanja).

9.2.2.2 Statički sistemi i konstrukcije grednih mostova

- Gredni mostovi za jedno polje (sl. 9.2.1) raspona 5 – 40 m sa slobodnim oslanjanjem preko ležišta dimenzioniraju se na ukupan momenat M_0 i zahtevaju dilatacije i ležišta. Za raspane 5 – 15 m su

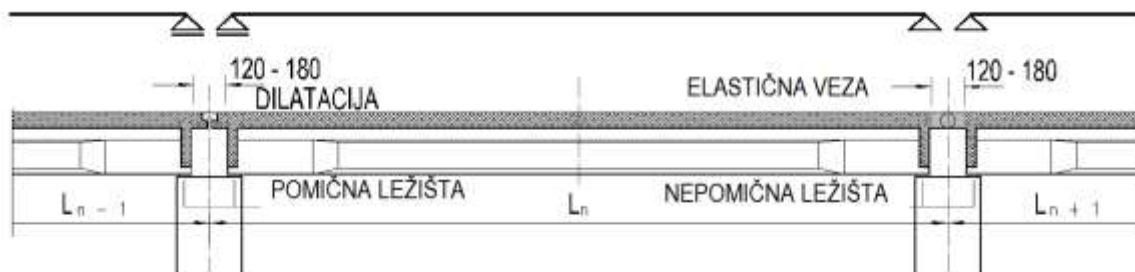
armirano betonski različitog poprečnog preseka. Veći rasponi od 15 – 40 (50m) su AB. prednapregnuti. Poprečni presek je sa „n“ glavnih montažnih nosača. Poprečni nosači i kolovozna ploča su u većini slučajeva betonirani na licu mesta.

- Grede za jedno polje najbolje je oblikovati sa paralelnim pojasevima, a to znači da je donja ivica paralelna sa linijom kolovoza. Konstruktivna visina je konstantna. Ovo takođe važi i kada je linija kolovoza pod nagibom ili kada je zaobljena.
- Gredni most u jednom rasponu zbog ograničene trajnosti i velikih troškova održavanja ne treba primenjivati i treba ga zameniti okvirnim (ramovskim) konstrukcijama u jednom rasponu od 5 – 50 m.



Slika: 9.2.1: Greda za jedno polje

- Većina izgrađenih mostova na ovim prostorima i u svetu sa montažnim glavnim nosačima od prednapregnutog betona su sa dva ili više polja i imaju poprečni diskontinuitet iznad srednjih oslonaca. Spojnice iznad oslonaca nastale su kao posledica ustupaka tehnologiji izrade i montaže (slika 9.2.2).



Slika 9.2.2: Montažna diskontinualna gredna rasponska konstrukcija mosta

Ovakvim načinom slobodnog oslanjanja ne sprečavaju se deformacije diskontinualnog sistema. Pod uticajem korisnog opterećenja i vremenskih uticaja glavni nosači se ugibaju, a krajevi nosača zaokreću. Kinematika

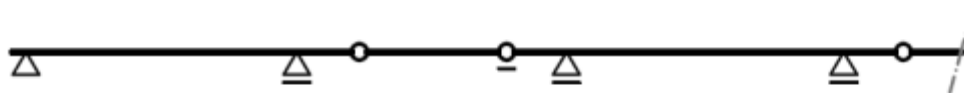
nosača na spoju izaziva zamor u elastičnim vezama što ima za posledicu destrukciju zglobove veze kod nepokretnih ležišta, odnosno oštećenja dilatacije kod pokretnih ležišta. Kroz oštećenja prodire voda u vezu i

na glave stubova. Kolovozna ploča je neravna, pojačava se dinamika udara i stvoreni su svi uslovi za ubrzani vremenski tok destrukcije.

Sistem slobodnih greda (diskontinualni sistem) sa ili bez dilatacija u kolovoznoj ploči iznad srednjih stubova upotrebljavao se dugo kod prednapregnutih armiranobetonskih sistema sa većim brojem raspona. Oštećenja iznad stubova uticala su na primenu rešenja bez prekida i dilatacija u kolovoznoj ploči. Izbacivanjem dilatacija uspostavljen je

kontinuitet kolovozne ploče za preuzimanje korisnih opterećenja.

Grede za jedno polje sa konzolama i okačenim nosačima je statički određen sistem i zahteva dilatacije. Na raspodelu Mo momenata na polje i zonu oslanjanja se može povoljno uticati postavljanjem zglobova i promenljivim momentom inercije (promenljiva visina grede na konzolnom delu). Ovaj sistem ima mnogo nedostataka u odnosu na kontinualne nosače bez spojnika (slika 9.2.3).



Slika 9.2.3: Shema RK sa zglobovima

Sistemi sa zglobovima poznati pod nazivom „Gerberov nosač“ bili su karakteristični za razdoblje od dvadesetih do pedesetih godina prošlog veka. U savremenoj mostogradnji mogu da se primene samo u izuzetnim slučajevima.

U nastojanju da se povećaju rasponi mostova iznad granica transportnih dužina i težina

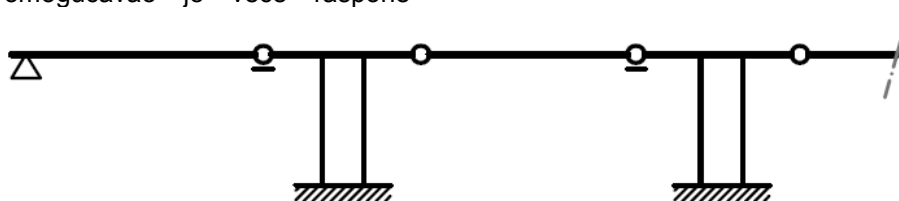
montažnih nosača nastale su konstrukcije sa zglobovima unutar raspona i krutim vezama noseće konstrukcije i srednjih stubova (slika 9.2.4). ovim rešenjima problem diskontinuiteta nije rešen, već je samo dislociran sa stuba u polje, a posledice destrukcije betona su ostale.



Slika 9.2.4: Kontinualna RK sa zglobovima

Stub sa konzolama i zglobovima (t.z. STO) za obešene nosače (slika 9.2.5) koji je korisan za izvođenje gradnje sa gotovim gredama omogućavao je veće raspone

između stubova. Postoji potencijalna opasnost od prevrtanja, kada jedno polje nije montirano.



Slika 9.2.5: Shema konstrukcije stubova sa konzolama i zglobovima

Statički neodređeni sistemi kao kontinuirani gredni sistemi sa dva, tri ili više raspona (slika 9.2.6) su najčešće upotrebljavani sistemi bez obzira na materijal. Veličina i

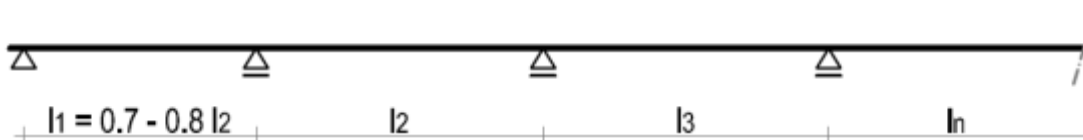
odnosi raspona zavise od morfologije i visine prepreke, uslova fundiranja i potencijalnog postupka građenja.

Velika prednost kontinuiranog nosača je izostavljanje spojnice iznad srednjih stubova na kolovozu dugih mostova. Pokretne dilatacione spojnice su skupe, zahtevaju održavanje, ometaju pri vožnji, pa prema mogućnostima treba primeniti samo jednu pokretnu dilataciju na jednom kraju mosta.

Nepokretno ležište treba postaviti na jednom kraju i izvesti ga sa malom spojnicom bez

pokretnog dela. Ostala ležišta moraju da budu podužno pomerljiva.

Krajnja polja treba izabrati tako da budu za 20 % kraća od srednjih polja, s tim da momenti u polju budu približno jednaki. Mo – moment se raspodeljuje na moment u polju i na osloncu, tako da se može ostvariti veća vitkost nego kod grede za jedno polje.

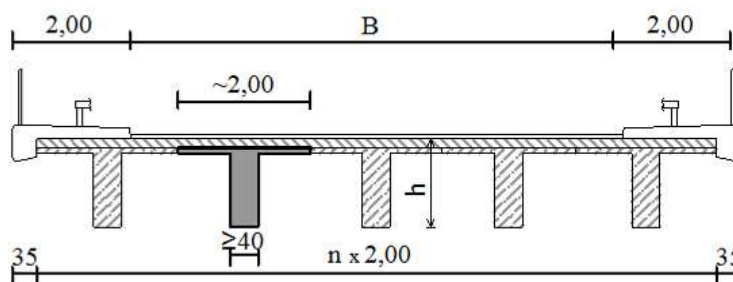


Slika 9.2.6: Shema kontinualne RK

Upotreba montažnih AB nosača od prednapregnutog betona za putne mostove ima određena ograničenja nastala na osnovu iskustva i grešaka iz dosadašnje prakse.

- Rasponi nosača ne bi trebalo da su veći od 35 m.
- Montažni nosači od prednapregnutog betona mogu da se primenei samo za kontinualne ili okvirne konstrukcije mostova najveće dužine 250 – 300 m.

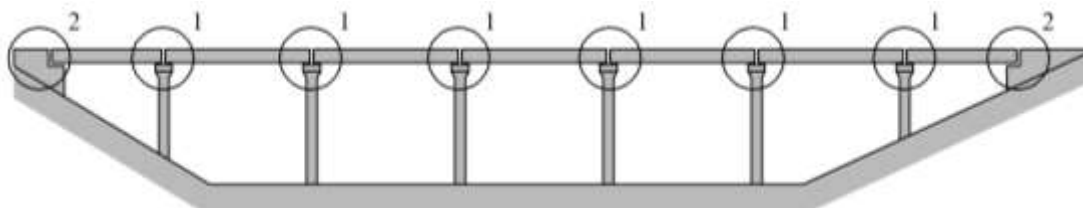
- Poluprečnik krivine trase puta treba da bude veći od 500 m.
- Zakošenje mosta ne sme da bude manje od 60°.
- Dozvoljavaju se samo T nosači sa tankim širokim gornjim pojasem koji omogućavaju betoniranje i sprezanje kolovozne ploče bez prekida i bez oplata (slika 9.2.7).



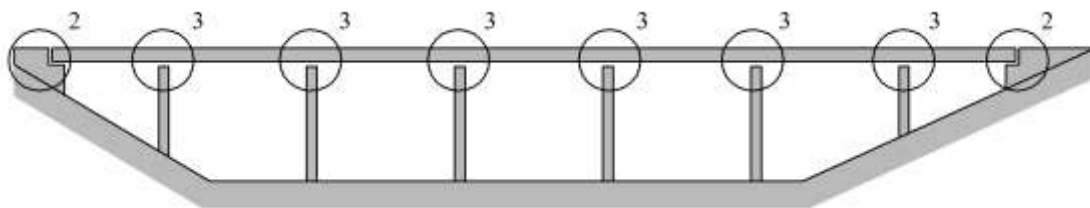
Slika 9.2.7: Poprečni presek savremenih mostova od T nosača

Poprečni nosači su samo nad stubovima, betoniraju se na licu mesta zajedno sa kolovoznom pločom. Kod kontinualnih sistema za oslanjanje na stubove treba uspostaviti krutu vezu, zglobnu vezu ili kod drugih mostova koristiti po dva ležišta.

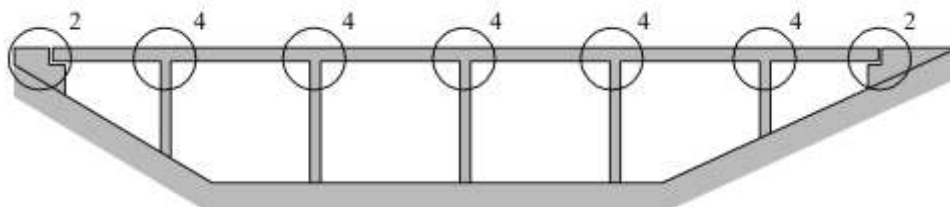
Na slici 9.2.8 je prikazan razvoj grednih sistema mostova na putevima od diskontinualne rasponske konstrukcije preko kontinualne do kvazi-integralne i integralne.



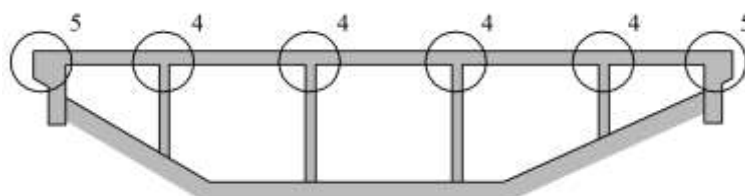
a) Shema diskontinualnog mosta



b) Shema kontinuiranog mosta



c) Shema kvazi-integralnog mosta



d) Shema integralnog mosta

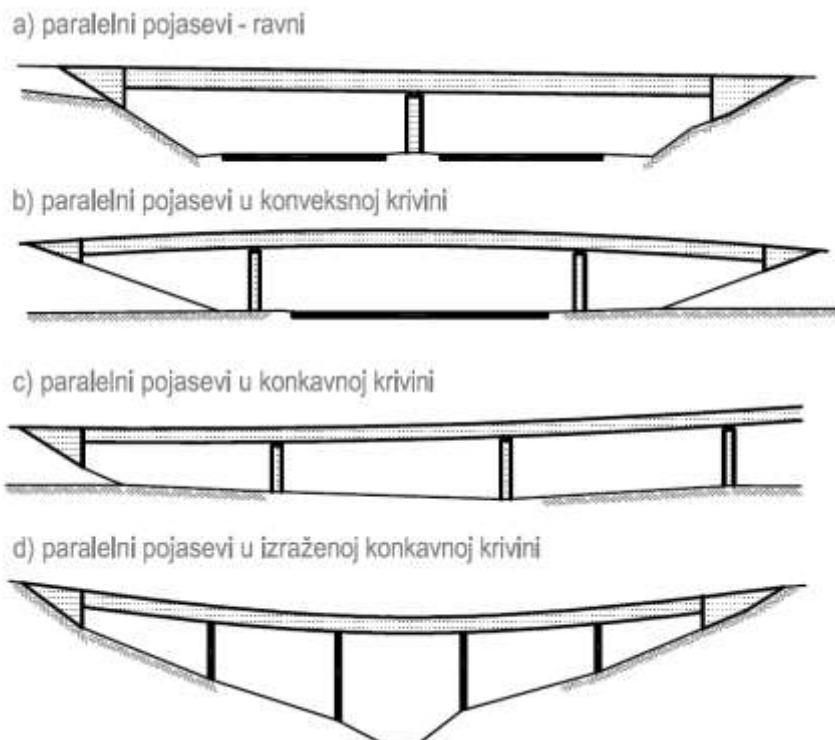
1. poprečni prekidi – proste grede sa ležištima i dilatacijama
2. ležišta i dilatacije na obalnim stubovima
3. kontinuirane rasponske konstrukcije sa ležištima nad stubovima
4. kruta okvirna veza rasponske konstrukcije i srednjih stubova
5. kruta veza elastičnih modifikovanih obalnih stubova

Slika 9.2.8: Razvoj grednih sistema mostova na putevima

9.2.2.3 Oblikovanje grednih mostova

Kontinuirani nosači se po pravilu oblikuju sa paralelnim pojasevima kada su rasponi polja

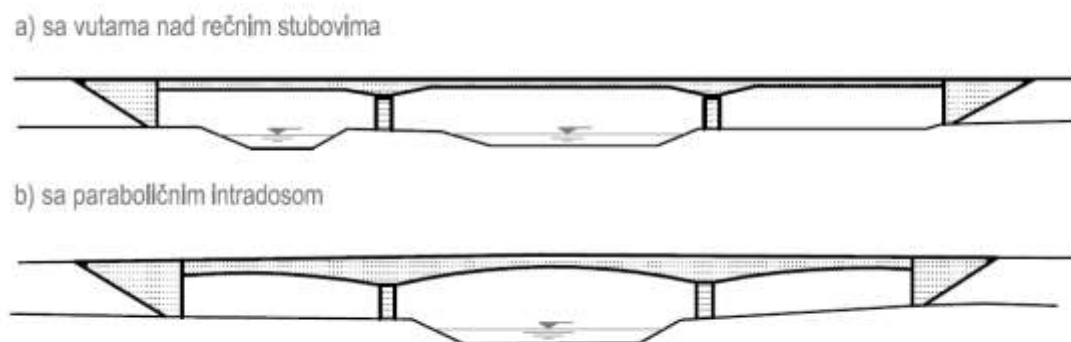
približno isti. Ovo važi i kada je put u naglašenoj vertikalnoj konveksnoj ili konkavnoj krivini (slika 9.2.9).



Slika 9.2.9: Oblikovanje kontinualnih grednih mostova

Kod rečnih mostova su česti gredni mostovi sa tri polja sa naglašenim glavnim otvorom, što je uslovljeno širinom reke, otvorom za prolaz brodova ili slično. Sopstvena težina u srednjem području srednjeg polja i momenti koji nastaju se umanjuju smanjenom konstruktivnom visinom. Tako nastaju grede sa vutama: pravolinijske vute odgovaraju

ravnim profilima puta, a parabolični intradosi odgovaraju konveksno zaobljenim niveletama. Grede sa naglašenim vutama i paraboličnim intradosom ostvaraju estetski efekat i pogodne su za slobodnu konzolnu gradnju, ako je srednji raspon veći od 70 – 80 m (slika 9.2.10).



Slika 9.2.10: Gredni rečni mostovi promenljive visine

9.2.3 OKVIRNI (RAMOVSKI) SISTEMI MOSTOVA

9.2.3.1 Uvod

Okvirni sistemi mostova nastaju kada je rasponska konstrukcija kruto ili pomoću zglobova povezana sa stubovima tako da predstavljaju jedinstvenu noseću konstrukciju sa različitim poprečnim preseccima.

Okvirni sistemi mostova sa jednim rasponom sa ili bez zglobova su racionalni za raspone od 5 do 50 (60) m, od AB ili ABP ili kao spregnuta konstrukcija.

Okvirni sistemi sa zategama i kosim stubovima omogućavaju veće raspone i upotrebu kombinacije monolitne i montažne gradnje.

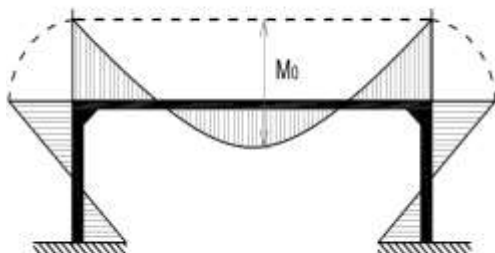
Okvirne konstrukcije sa dva, tri ili više polja često se upotrebljavaju u savremenoj mostogradnji.

Na slici 9.2.8 pokazan je razvoj grednih sistema u okvirne sisteme mostova.

Okvirni sistemi mostova su bez ili sa minimalnim brojem ležišta i dilatacija čime se otklanjaju glavna mesta i uzroci oštećenja, pa se smanjuju troškovi održavanja. Okvirne konstrukcije su robusnije i sadrže sistemske rezerve u preraspodeli opterećenja i statičkih uticaja. U smernici 9.3 detaljnije su prikazani integralni okvirni mostovi.

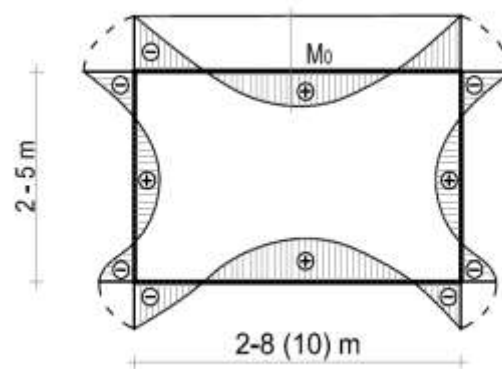
9.2.3.2 Statički sistemi i konstrukcije okvirnih mostova

Za propuste otvora 2 – 5 m i manje mostove i podvožnjake otvora 5 – 8 (10 m) na slabo nosivom tlu otvore treba projektovati kao zatvorene AB okvire. Dobar i uravnotežen



a) Kruti stubovi okvira mali moment u polju

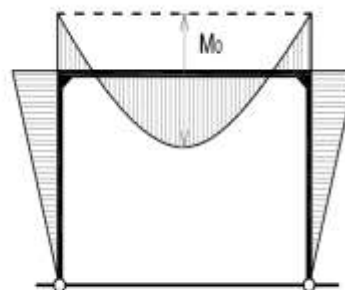
raspored uticaja sa prilagođavanjem na deformacije i sleganja su dobre osobine ovog sistema (slika 9.2.11).



Slika 9.2.11: Zatvoreni AB okvir za propuste, manje mostove i potputnjake

Okvirni sistemi mostova sa jednim rasponom sa ili bez zglobova su racionalno rešenje za raspone od 5 do 60 m od AB ili ABP ili kao spregnute konstrukcije. Okvirni sistem je racionalniji od grednog sistema sa jednim rasponom, jer pritiske zemlje preuzima kompletan sistem. Ležišta i dilatacije nisu potrebne. Održavanje objekata je lakše i ekonomičnije.

Okvirni sistemi nastaju krutim vezivanjem rasponske konstrukcije sa oporcima ili sa srednjim stubovima. Kraj grede se uklješti u obalni stub tako se deo M_0 – momenta raspoređuje putem negativnog momenta uklještenja, pa se potrebna konstruktivna visina u polju može smanjiti. Krutim stubovima okvira može se značajno smanjiti moment u polju (slika 9.2.12). Izborom krutosti se može povoljno uticati na raspodelu momenata savijanja, tako npr. kod nadvožnjaka se može postići manja konstruktivna visina.

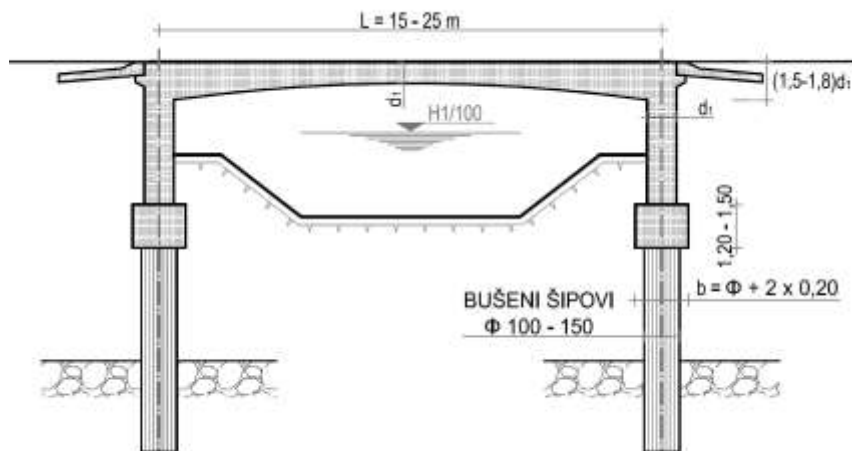


b) Zglobovi u peti ili mekši stubovi okvira veći momenat u polju

Slika 9.2.12: Okvirni sistemi mostova sa jednim rasponom

Mostovi otvora 15 – 20 m (25 m) projektuju se kao AB okvirne konstrukcije sa promenljivom debljinom prečke u sredini $d \leq$

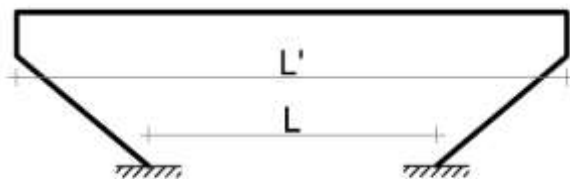
$l/20$, a pri uklještenju u stubove $d_1 = (1,5 - 1,8)d$ sa parabolničnim intradosom.



Slika 9.2.13: Okvirna AB konstrukcija za manji most ili podvožnjak u jednom rasponu 15 – 25 m

Primenom okvirne konstrukcije sa kosim stubovima može se znatno smanjiti statički

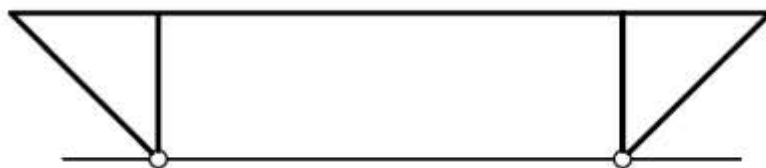
raspon mosta, a time i statički uticaji (slika 9.2.14).



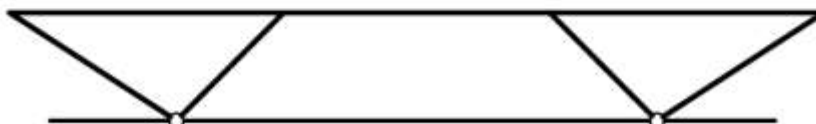
Slika 9.2.14: Uklješten okvir sa kosim stubovima u jednom rasponu



a) Dvozglubni okvir sa zglobovima i konzolnim oslanjanjem



b) Dvozglubni okvir sa vertikalnim stubovima i zategama



c) Dvozglubni okvir sa kosim stubovima i zategama

Slika 9.2.15: Dvozglubni okviri sa stubovima kao trougao štapova, zglobno oslonjen ili elastično uklješten.

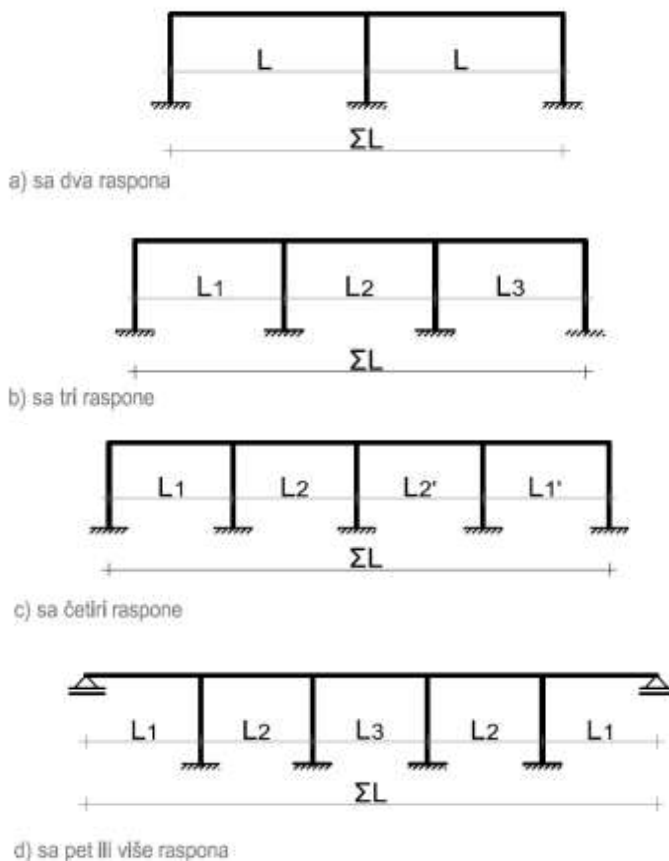
- Okvirni sistemi sa zategama i kosim stubovima omogućavaju veće raspane i

upotrebu kombinacije monolitne i montažne gradnje. Pogodni su za

nadvožnjake i mostove od armiranog ili prednapregnutog betona, za čelične i spregnute preseke. Prepusti sa zategama i kosim stubovima smanjuju momente u polju zbog čega može da se upotrebi manja konstruktivna visina preseka.

- Okvirne konstrukcije sa dva, tri ili više polja, sa vertikalnim stubovima često se upotrebljavaju u savremenoj mostogradnji, a posebno od armiranog i prednapregnutog betona. Kod objekata sa

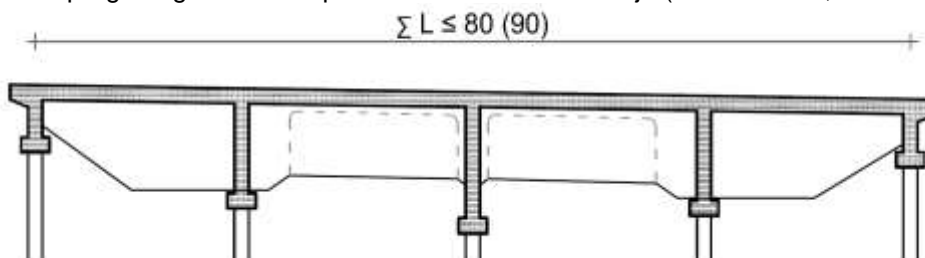
više polja može se primieniti čvrsta veza između stubova i nosača, veza sa zglobovima ili sa ležištima, što zavisi od ukupne dužine objekta, veličine raspona, odstojanja od osovine simetrije sistema, tako da se sistemi prepliću sa grednim kontinuiranim sistemima. Dobrom kombinacijom čvrste veze i veze sa zglobovima, odnosno ležištima, može da se postigne racionalnije rešenje objekta.



Slika 9.2.16: Okvirne kontinualne konstrukcije

Okvirne kontinualne konstrukcije od armiranog betona raspona od 15 – 20 m, kao i iste od prednapregnutog betona raspona 20

– 40 m mogu da se grade kao monolitne ili montažno monolitizovane – spregnute konstrukcije (smernica 9.5, slika 9.5.13).



Slika 9.2.17: Savremeno konstruisana ABP monolitna konstrukcija

9.2.4 LUČNI SISTEMI MOSTOVA

9.2.4.1 Uvod

Luk je najstariji noseći sistem za mostove i vijadukte. Upotrebljavao se za premošćavanje reka i dubokih dolina sa strmim padinama i kompaktnim kamenitim tлом koje može da preuzme sile iz temelja lukova. Stari mostovi i akvadukti sa kamenim svodovima iz rimskog perioda imaju neograničenu trajnost. Osovina lukova (svodova) oblikovana prema potpornoj liniji od opterećenja sopstvenom težinom je najbolji noseći sistem za materijale koji imaju visoku čvrstoću na pritisak (kamen, beton), a malu čvrstoću na zatezanje.

Savremeni lučni mostovi grade se od armiranog betona, čelika i sa spregnutim presekom za raspone od 50 do 500 m, a nadlučne konstrukcije od armiranog, prednapregnutog betona ili kao spregnute konstrukcije. Za manje raspone do 50 m lučni mostovi su obično skuplji. Lučni mostovi su posebno primenljivi za premošćavanje dubokih planinskih dolina sa stenovitim stranama.

Prema statičkom sistemu razlikujemo uklješteni luk, luk sa jednim zglobovima u temenu, luk sa dva zglobova u petama i luk sa tri zglobova. U savremenoj praksi se projektuju uklješteni lukovi kao AB konstrukcije i lukovi sa dva zglobova kao čelične i (ili) spregnute konstrukcije. Lukovi sa zglobovima u temenu se više ne koriste, jer su manje trajni.

Novе tehnologije gradnje lukova, pre svega slobodna konzolna gradnja lukova velikih raspona, ponovo su vratile lučne mostove u konkurenciju sa ostalim sistemima. Napredak u proučavanju reoloških osobina betona povećao je granice raspona armiranobetonskih lučnih mostova.

Kod savremenih lučnih mostova konstrukcija iznad luka (nadlučna konstrukcija) je grednog sistema, betonirana na licu mesta, ili konstrukcija koje se betonira na platou i navlači na pripremljene stubove po sistemu potiskivanja. Primena ove tehnologije smanjuje cenu i vreme izgradnje lučnih mostova velikih raspona.

Savremeni računarski programi omogućavaju analizu prostornog modela konstrukcije tako da se mogu odrediti stvarna naponska stanja i deformacije za zajednički sistem delovanja luka i nadlučne konstrukcije. Lučne mostove većih raspona treba izračunati prema teoriji drugog reda.

9.2.4.2 Uklješteni armirano betonski lukovi

Uklješteni luk ili svod predstavljao je osnovni sistem za lučne mostove i vijadukte od kamena, opeke i betona, a ostao je osnovni sistem i za AB.

Kod lukova od kamena i opeke čeonih zidovi su bili puni ili su imali otvore za rasterećenje. Kod armiranobetonskih lukova pojavljuje se umesto punih čeonih zidova gredna ili okvirna konstrukcija iznad luka (nadlučna konstrukcija). U početku je nadlučna konstrukcija imala male raspone 5 do 6 m, a sada gredna konstrukcija iznad luka ima raspone i do 30 m i različite poprečne preseke.

Betonski uklješteni lukovi su bez konkurencije za mostove velikih raspona, jer normalna sila pritiska nastaje kao posledica statičkog sistema. Za AB uklještenе lukove raspona preko 200 m preporučuje se znatno lakša spregnuta nadlučna konstrukcija koja omogućava smanjenje preseka lukova.

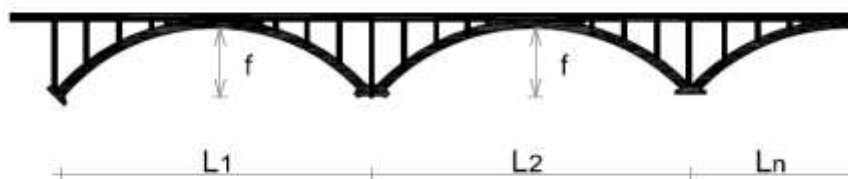


Slika 9.2.17: AB uklješteni lukovi

Premošćavanjem širokih reka, posebno u gradovima, aktualizovana je ponovna primena sistema sa kontinuiranim lukovima od armiranog betona ili čelika.

Konstruktorima koji upotrebljavaju ovaj sistem otvorile su se široke mogućnosti variranja i oblikovanja kojima se postiže odnosom veličine raspona i strele lukova, kao

i oblikom preseka luka prema obliku širokih srednjih i krajnjih stubova.



Slika: 9.2.18: AB kontinualni uklešteni lukovi

Pri koncipiranju dispozicije betonskog ukleštenog luka potrebna je svrsishodna analiza i izbor osovine luka, izbor zakonitosti promene debljine luka, izbor poprečnog preseka što, pored ostalog, utiče i na estetski izgled mosta.

Poprečni preseki lukova ili svodova su pregledno prikazani u tabeli 9.2.1, a zavise prvenstveno od veličine raspona. Za manje raspane lučne konstrukcije preporučuju se

preseci u vidu pune ploče, dvojne ploče i nosača (preseci 1, 2, 3). Za raspane lukova od 100 – 150 m racionalni su preseci u vidu I nosača ili sandučasti preseci nosača (preseci 4 i 5). Za najveći raspon od 150 – 400 m lukovi se projektuju sa jednočelijskim ili višečelijskim sandučastim presekom (preseci 6, 7 i 8). Visina preseka lukova data je u temenu u funkciji od veličine raspona i povećava se prema petama luka.

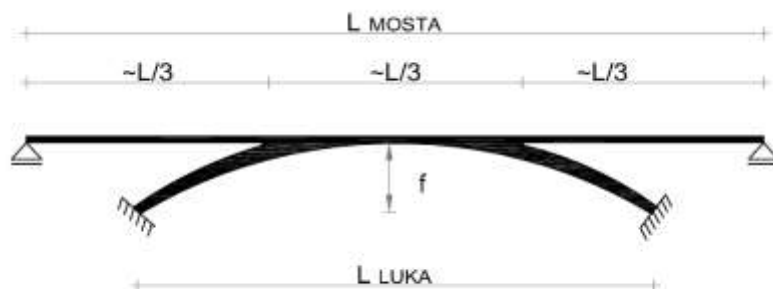
Tabela 9.2.1

TIP PRESEKA	NAZIV PRESEKA LOKA (SVUDA)	POPREČNI PRESEK	RAZPONI LUKA L u m VISINA PRESEKA h
1	PLOČASTI PRESEK		$L = 50 - 80$ m VISINA h V TEMENU LUKA $h = (1/60 - 1/70)L$ ZA MANJE I $h = (1/60 - 1/100)L$ ZA VEĆJE I
2	DVOJNA PLOČA		$L = 50 - 90$ M $h = (1/60 - 1/100)L$ v temenu
3	LUČNI NOSAČI		$L = 50 - 100$ m $h = (1/40 - 1/60)L$ $h/b = 1 - 2$
4	LUČNI NOSAČI I PRESEKA	20-30	$L = 70 - 120$ $h = (1/25 - 1/35)L$ $h/b = 2 - 2.5$
5	LUČNI NOSAČI SANDUČASTOG PRESEKA	20-30	$L = 100 - 150$ m $h = (1/50 - 1/70)L$ $h/b = 1 - 1.5$
6	JEDNOČELJSKI PRESEK	20-30	$L = 150 - 250$ m $h = (1/50 - 1/100)L$
7	DVOČELJSKI PRESEK		$L = 150 - 300$ $h = (1/50 - 1/100)L$
8	TROČELJSKI PRESEK		$L = 200 - 400$ m $h = (1/50 - 1/100)L$

9.2.4.3 Elastično uklešteni AB lukovi

Elastično uklešten luk u obliku srpa koji omogućava uvođenje programirane promene momenata inercije po dužini raspona je predstavnik novijih savremenih lučnih, armiranobetonskih mostova manjih raspona od 40 do 120 m. Lukovi i svodovi povezani su u jedinstveni presek sa konstrukcijom iznad

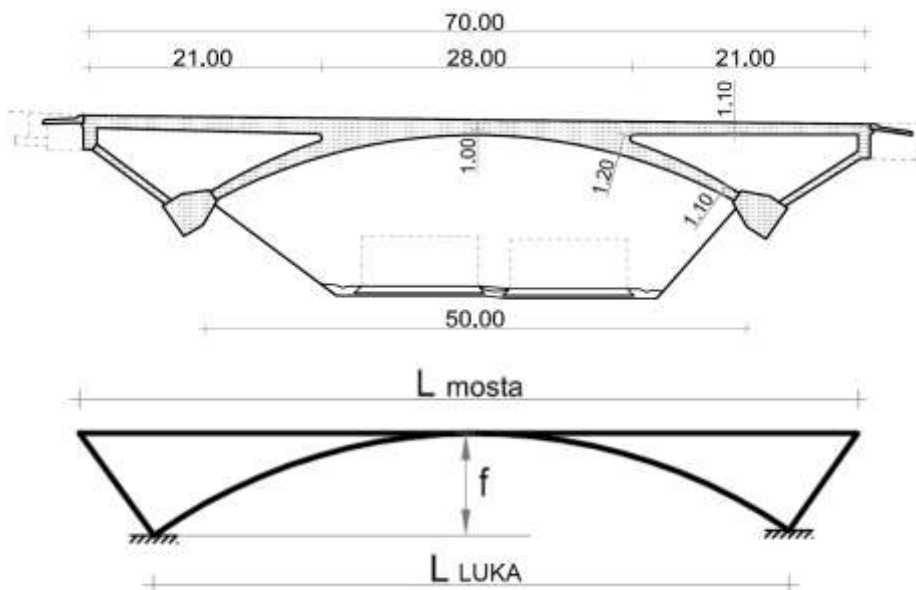
luka na približno trećini dužine mosta. Poželjno je da konstrukcija iznad luka bude bez stubova (slika 9.2.19). Krajevi nadlučne konstrukcije mogu da se oslanjaju na niske obalne stubove ili mogu da budu povezani sa temeljem lukova (slika 9.2.20) tako da se dobije racionalna integralna lučna konstrukcija. U toj kompoziciji deo konstrukcije spojen sa lukom je veći od trećine dužine objekta.



Slika 9.2.19: AB elastično uklešten luk

Na slici 9.2.20 prikazan je koncept konstrukcije i statički model AB konstrukcije integralnog nadvošnjaka sa elastično ukleštenim lukovima raspona 50 m. Krajevi

nadlučne konstrukcije su povezani sa temeljima luka AB kosim pločama koje istovremeno štite kosinu useka pod objektom bez uobičajenog rešenja krajnjih stubova.



Slika 9.2.20: Koncept konstrukcije i statički model integralne konstrukcije AB elastično ukleštenog luka nadvošnjaka

9.2.4.4 Dvozglubni čelični (spregnuti) lukovi

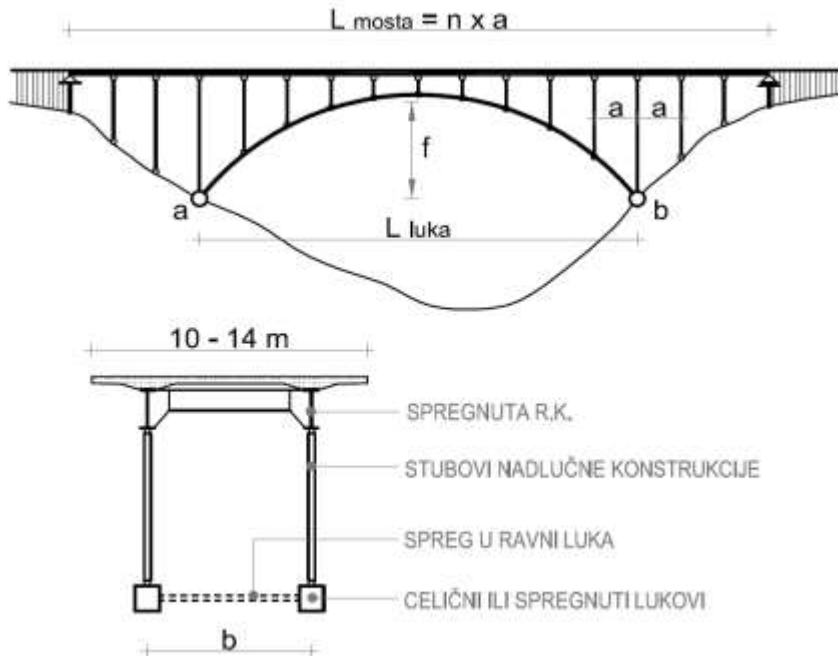
Dvozglubni luk je osnovni sistem za čelične (spregnute) lučne mostove i najbolje odgovara čeliku kao nosećem materijalu. Veličina raspona čeličnih lučnih mostova teoretski nije ograničena. Do sada ostvaren

rekordan raspon lučnog čeličnog mosta iznosi $L = 518$ m. Lučna konstrukcija je rešetkasta, a statički sistem je luk na dva zgloba. Most je izgrađen 1976. godine od nerđajućeg čelika.

Ako postoji dovoljna visina najlogičnije rešenje je čelični lučni most sa dva zgloba u stopama i nadlučna konstrukcija iznad luka,

kao što je to prikazano na slici 9.2.21. Rasponi lukova na dva zgloba su u granicama od 50 do 200 m za preseke lukova sa punim zidovima. Za veće raspone racionalno je preći na rešetkastu konstrukciju lukova. Nadlučnu konstrukciju čine stubovi i rasponska konstrukcija. Stubovi i nadlučna

konstrukcija mogu da budu sa punim čeličnim zidovima ili sa spregnutim presekom ili sa rešetkastim presekom, što zavisi od rešenja preseka lukova, visine i razmaka stubova, raspona nadlučne konstrukcije. Luk na dva zgloba je jedanput statički neodređen sistem.



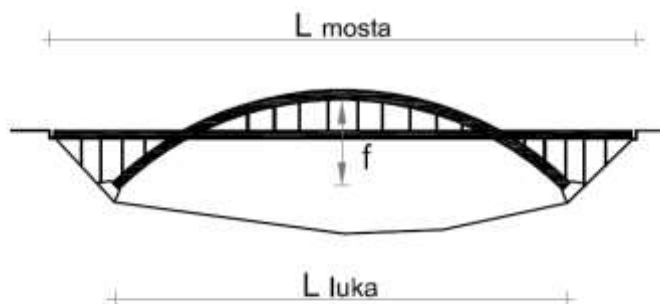
Slika 9.2.21: Statičko-konstruktivna koncepcija čeličnog (spregnutog) luka sa dva zgloba

- Ako se puni pravougaoni ili cevasti preseki lukova ispune betonom ostvaruje se spregnuti presek čija se nosivost povećava i do 40 %.
- Odnos raspona i strele luka $l : f$ je u granicama od 5 do 12.
- Stubovi nadlučne konstrukcije otvorenog ili zatvorenog (spregnutog) preseka su kruto ili zglobno povezani sa lukovima i nadlučnom konstrukcijom.

Rasponska nadlučna konstrukcija je spregnuta i ima raspon od 20 – 30 m, sa dva

glavna nosača za širine mostova od 10 – 14 m.

Čelični lukovi sa dva zgloba sa delimično spuštenim kolovozom omogućavaju velike raspone sa pogodnim odnosom raspona i strele luka bez obzira o kakvoj se prepreci radi. Pogodni su za pliće prepreke kod kojih je određen položaj nivelete (slika 9.2.22). Povoljan odnos strele luka i raspona je $f/l \cong 1/5$.



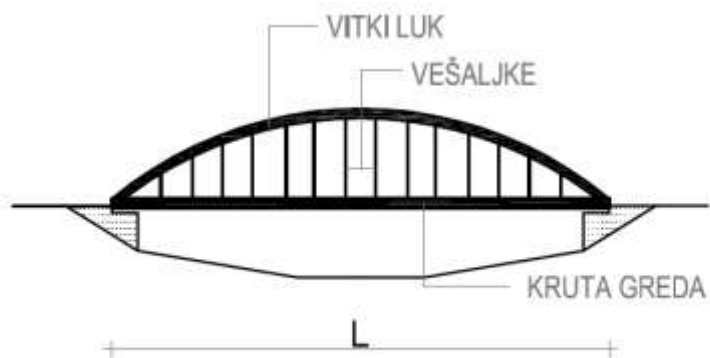
Slika 9.2.22: Čelični (spregnuti) luk sa dva zgloba sa upuštenim kolovozom

Greda ojačana vitkim lukom ili vitki luk ojačan gredom poznati pod nazivom "Langerova greda" je izraziti predstavnik čeličnih

dvozglonih lučnih mostova sa većim rasponima i ograničenom konstruktivnom visinom preko reka ili drugih prepreka.

Lučni deo sistema je zbog svoje vitkosti u celosti opterećen samo osovinskom silom, a ojačana greda koja deluje i kao zatega preuzima savijanje.

Moderne verzije ovog sistema mogu da imaju samo jedan luk u sredini preseka (slika 9.2.23).



Slika 9.2.23: Vitki luk ojačan krutom gredom

Sistem je jedanput statički neodređen. Statička neodređenost je unutrašnja. Reakcije oslonaca iste su kao i kod proste grede istog raspona i opterećenja. Za paraboličan luk sa jednkim razmakom vešaljki sila je ista u svim vešaljka.

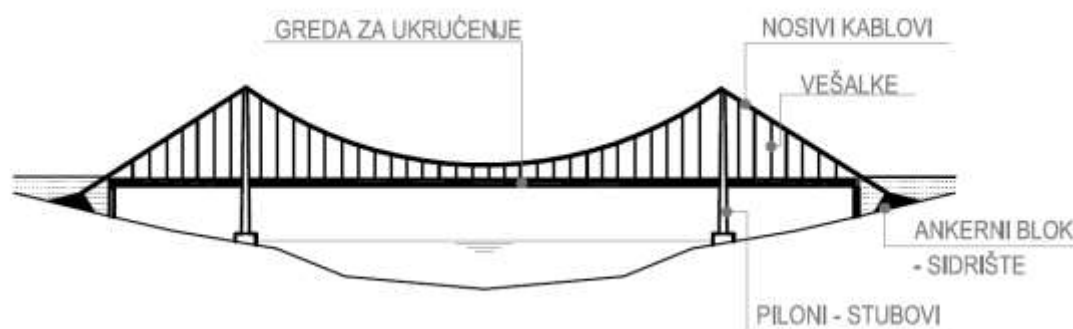
Lukove treba obezbediti od bočnog izvijanja spregovima u njihovoj ravni. Moguća su i rešenja bez spregova sa širim presecima lukova.

9.2.5 VISEĆI SISTEMI MOSTOVA

9.2.5.1 Uvod

Viseći sistemi mostova sa nosećim paraboličnim kablovima, vertikalnim vešaljima i gredom za ukrućenje su sistemi koji se upotrebljavaju samo za čelične drumske mostove najvećih raspona od 500 do 2000 m.

Konkurencija koja je nametnuta od strane mostova sa kosim zategama uticala je da se granice racionalnih raspona visećih mostova povećaju.



Slika 9.2.24: Shema visećeg mosta

Noseći sistem visećeg mosta čine:

Noseći kablovi od visokovrednog nelegiranog čelika sa udelom ugljenika ispod 1 %. Za mostove se koriste zatvoreni spiralni preseći užadi. Kabl može da se formira od jednog ili više užadi ili strukova. Za manje mostove mogu se koristiti i otvorena spiralna užad. Složeniji konstruktivni delovi su veza kablova u ankerima i prevoj – sedlo na pilonu. Kabl preuzima celokupnu težinu mosta.

Greda za ukrućenje je čelični nosač konstantne visine čiji su zidovi puni ili su dva zida rešetkasta. Oblik poprečnog preseka zavisi od raspona, razmaka vešaljki i širine mosta. Novija rešenja grede za ukrućenje su znatno detaljnije tretirana na uticaj vetra, pa im je presek formiran pomoću ispitivanja u aerodinamičkom tunelu. Kod velikih raspona primenjuju se čelične grede za ukrućenje sa laganim ortotropnim presekom. Kod srednjih i manjih raspona greda za ukrućenje može biti spregnutog preseka.

Viseći sistemi mostova sa elastičnom gredom za ojačanje mogu biti zanimljivi i konkurentni za mostove za pešake raspona od 50 do 200 m, provizorne mostove kao i za mostove preko kojih prelaze cevovodi.

9.2.5.2 Konstruktivna i statička koncepcija visećih mostova

Značajna karakteristika visećih mostova su velike deformacije pod pokretnim opterećenjem i od uticaja vetra, što izaziva vibracije, pa se ovi sistemi skoro isključivo koriste samo za putne i pešačke mostove.

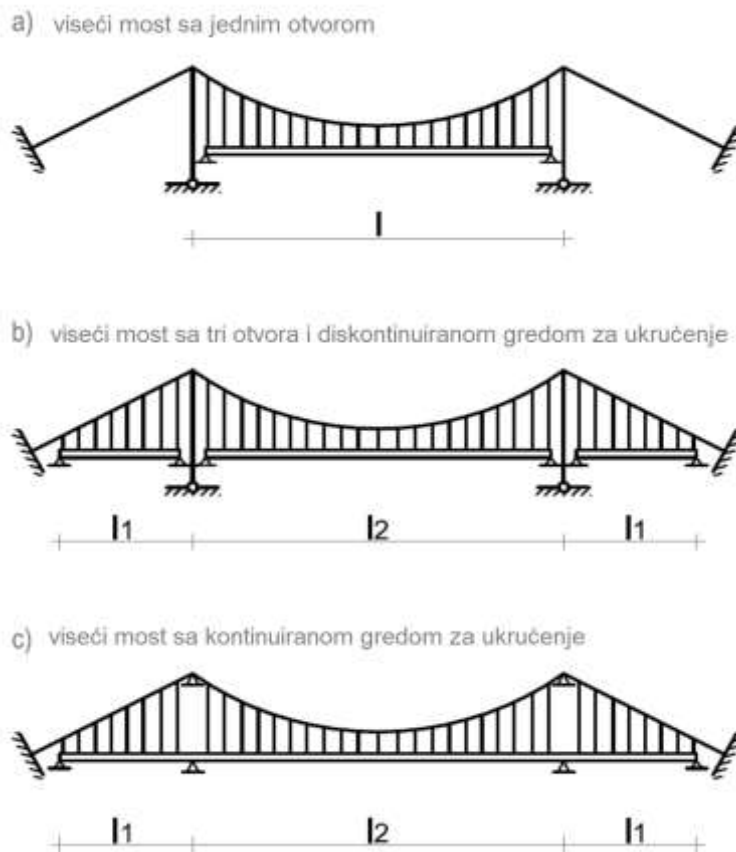
Piloni – stubovi su noseći elementi koji čine oslonce gredi za ukrućenje i kablu na prevojnoj tački – sedlu. Piloni mogu biti uklešteni ili zglobno vezani za betonski stub ili temelj. Po obliku to su portali sa prečkama u vrhu i na mestu oslanjanja grede za ukrućenje. Po tipu konstrukcije mogu biti rešetkasti ili puni čelični okvir.

Vešaljke su noseći elementi preko kojih je greda za ukrućenje okačena za noseći kabl. Bitni konstruktivni detalji su veza vešaljki za noseći kabl i gredu za ukrućenje.

Ankerni blokovi – ankeri su AB elementi u koje se ankeruju kablovi. Ankeri blok može biti u tlu, obično kamenitom ili u gredi za ukrućenje.

U zavisnosti od načina ankerisanja krajeva kabla razlikujemo:

- prave viseće mostove koji su ankerisani u tlo i
- viseće mostove ankerisane u gredi za ukrućenje – prividni viseći mostovi.



Slika 9.2.25: Statičke sheme visećih mostova

Ako su uslovi za ankerisanje dobri – kamenito tlo, tada uvek treba težiti rešenju sa pravim visećim mostom.

Noseći element visećeg mosta ankerisanog u tlo je kabl koji preko grede za ukrućenje preuzima celokupnu težinu i korisno opterećenje mosta. Kabl se može pomerati preko sedla.

Za vertikalni položaj vešaljki sila u kablovima je konstantna za svaku tačku kabla. Nosač za ukrućenje, pored ostalog, izjednačava ugibanja mosta usled koncentrisanog položaja korisnog tereta.

Statički proračun visećih mostova ankerisanih u tlo obuhvata određivanje statičkih uticaja u gredi za ukrućenje i kablovima i određivanje deformacija usled pokretnog opterećenja, uticaja vetra i temperature.

Greda za ukrućenje mora se izračunati prema teoriji II reda, koja u proračun uvodi njene deformacije. Uticaj deformacija sistema na statičke veličine je znatan kod većih mostova i dovodi do većih ušteta u materijalu, jer se dobiju manje statičke

veličine. Obavezna je analiza dinamičkih uticaja, uticaja vetra i seizmičkih uticaja.

9.2.6 SISTEMI MOSTOVA SA KOSIM ZATEGAMA

9.2.6.1 Uvod

Postoji više naziva za ovaj savremeni noseći sistem mostova na putevima. Pored termina mostovi sa kosim zategama koristi se i termin zauzdani i zavešani. Mostovi sa kosim zategama su objekti kod kojih je rasponska gredna konstrukcija različitog preseka i od različitog materijala zavešana, elastično oslonjena kosim zategama na jedan ili dva pilona.

Kose krute zatege koje povezuju gredu sa stubovima poznate su od sedamnaestog veka, a moderna primena sistema mostova sa kosim zategama počinje od 1955. godine mostom Stroemsund u Švedskoj. U savremenoj praksi sistem se koristi za širok spektar raspona od 50 – 100 m i od 100 – 1000 m. Rekordan raspon iznosi 1088 m na mostu Sutong u Kini sa pilonom visine 300 m koji je dovršen 2007. godine.

Razvoj sistema sa kosim zategama kretao se u smeru usvajanja manjih razmaka elastičnih oslonaca – zatega i primene spregnutih i betonskih greda.

Pri statičkoj analizi mostova sa kosim zategama mora se voditi računa o nelinearnosti koja je posledica dva uzroka:

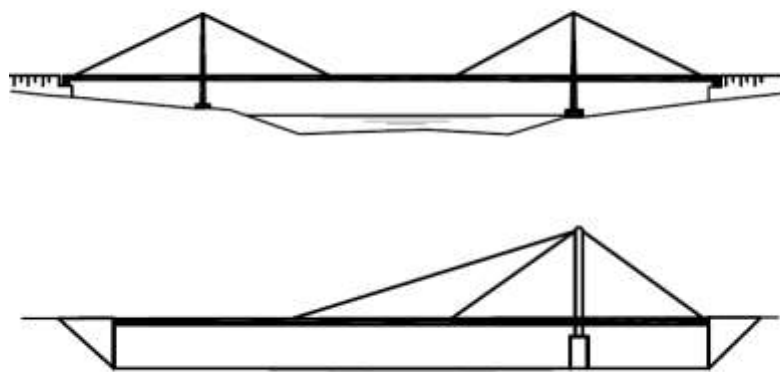
- znatne sile pritiska u gredi i pilonima pored naprezanja na savijanje,
- nelinearnog ponašanja kosog kabla – zatege koje nastaje usled interakcije promene veličine „strele“ linije kabla (ugib kabla) i promene sile zatezanja u kablu.

Prva navedena nelinearnost uzima se u obzir proračunom statičkog sistema prema teoriji II reda. Kod mostova sa kosim zategama su (za razliku od visećih mostova) uticaji po teoriji II reda veći od uticaja po teoriji I reda za približno 6 – 12 %. Druga nelinearnost – nelinearnost kablova uvodi se u proračun preko efektivnog modula elastičnosti kabla. Efektivni modul elastičnosti kabla je ekvivalentan modulu elastičnosti kojim se pored izduženja materijala uvodi i geometrijsko izduženje kabla.

U ovoj smernici biće date instruktivne tehničke informacije o razvoju sistema i nosećim elementima greda, zategama i pilonima. U stručnoj literaturi ima dosta podataka o iskustvima na osnovu velikog broja izgrađenih mostova.

9.2.6.2 Razvoj mostova sa kosim zategama

Prvi moderni mostovi sa kosim zategama od 1955. godine pa dalje bili su sa čeličnom gredom koja je bila obešena pomoću malo zatega na velikom razmaku sa dva ili jednim pilonom. Tako koncipirani mostovi su analizirani kao gredni sa elastičnim međuosloncima (sl. 9.2.26). Greda mora da ima konstruktivnu visinu i krutost na savijanje koji odgovaraju rasponima. Iz brojnih razloga tokom razvoja prešlo se na više zatega na malim odstojanjima tačaka za vešanje. U tom slučaju most se tretira kao konzolni most, kod koga je greda donji pojas (pritisnuti pojas), a kose zatege su konzolni – zategnuti pojas koji prenosi opterećenje na pilone. Pilon mora da bude ankerisan unazad, u zavisnosti od odnosa glavnog otvora i bočnih otvora.



Slika 9.2.26: Sheme prvih modernih mostova sa kosim zategama

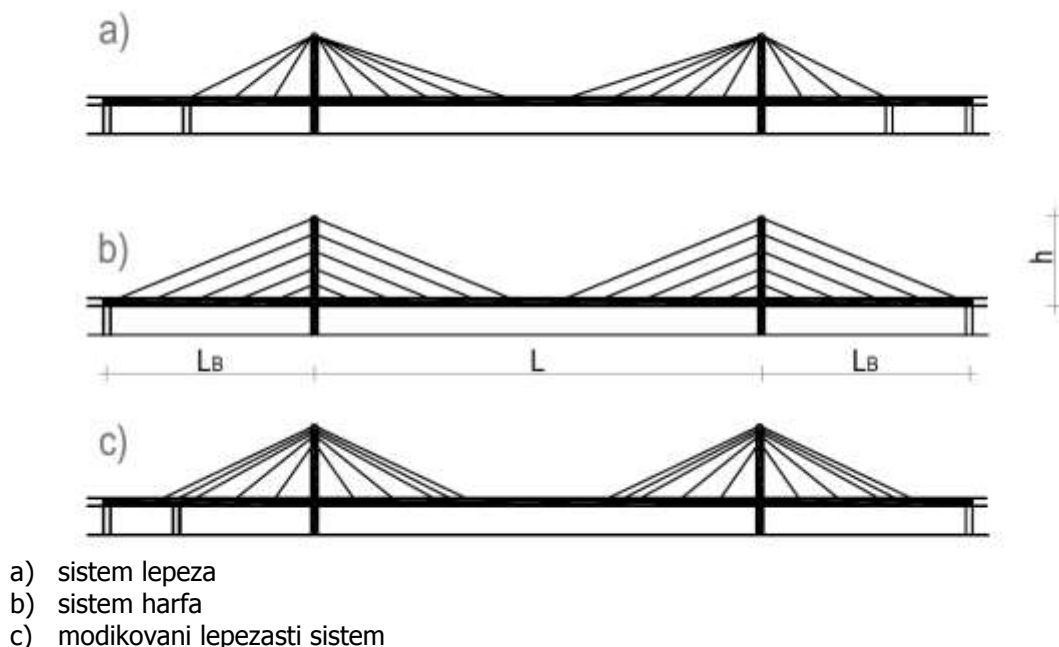
Mostovi sa zategama na velikim razmacima imaju jake grede sa ojačanjima u tačkama ankerisanja. Zatege su jake i izrađaju se na

gradilištu. Montaža grede i zatega zahteva angažovanje skele i druge opreme.

Razvoj sistema sa kosim zategama kretao se u smeru usvajanja manjih razmaka elastičnih oslonaca – zatega i primene spregnutih i betonskih rasponskih konstrukcija. Sistemi sa više zatega na manjim razmacima omogućavaju ekonomična rešenja. Zatege se proizvode u radionicama. Pri slobodnoj konzolnoj gradnji nije potrebna skela i

posebna oprema, a gradnja je brža. Momenti savijanja u gredi su manji, greda ima manju konstruktivnu visinu i manji presek. Moguća je zamena zatega.

Sisteme mostova sa kosim zategama određuje raspored zatega (slika 9.2.27).



Slika 9.2.27: Osnovni sistemi mostova sa kosim zategama

- Bočni rasponi L_B su približno $0,4 L$ – glavnog raspona
- Visina pilona h je $0,20 - 0,25 L$ – glavnog raspona
- Odnos glavnog raspona L prema širini grede treba da bude veći od $1/10$ ($L/B > 10$)

Zatege mogu da budu postavljene u dve ravni (slika 9.2.28)

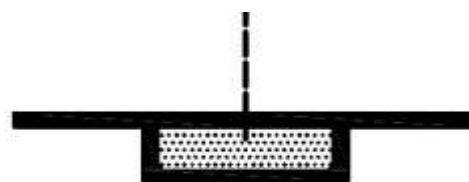
- a) direktno na ivici konstrukcije sa direktnim unosom sila
- b) indirektno preko jakih poprečnih nosača sa preraspodelom sila i dodatnim naprezanjima grede



Slika 9.2.28: Zatege u dve ravni

Zategama u dve ravni postiže se torziona krut poprečni presek, zatege imaju manji presek i njihovo ankerisanje je jednostavnije. Prostorna krutost celoga mosta je veća.

Zatege u jednoj ravni zahtevaju torziona krut poprečni presek (sandučasti), zatege su jače pri istom rastojanju.



Slika 9.2.29: Zatege u jednoj ravni

Tok unutarnjih sila određuje koncepciju, konstrukciju i materijal tri glavna noseća

elementa zavešanog mosta: grede, zatega i pilona. Najveća unutarnja sila je normalna sila koja deluje podužno u gredi, a nastaje od horizontalne komponente kosih zatega.

Greda je velikom normalnom silom sistemski prednapregnuta, ima male momente savijanja koji teku kontinuirano između ankera zatega. Materijal za greda je u funkciji glavnih raspona mosta i razmaka zatega. Greda mogu da budu od čelika, betona ili sa spregnutim presekom.

Zatega su izložene naponu zatezanja i konstruišu se od visokovrednog čelika sa ankerisanjem u gredi i pilonu.

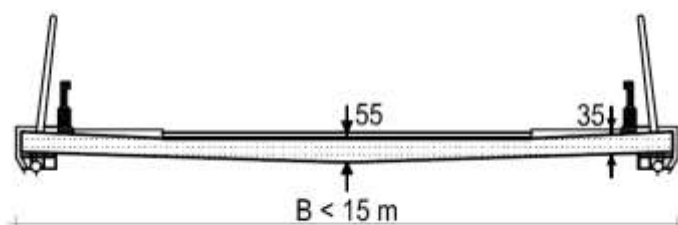
Piloni primaju velike normalne sile (težina mosta i saobraćaja) i male momente usled ekscentričnosti saobraćaja. Piloni su od

armiranog prednapregnutog betona, čelika ili njihove kombinacije.

9.2.6.3 Greda mostova sa kosim zategama

Koncepcija i konstruktivna rešenja greda zavise od materijala, glavnog raspona mosta, razmaka zatega (raspona elastičnih oslonaca), ravni zatega, namene i širine mostova.

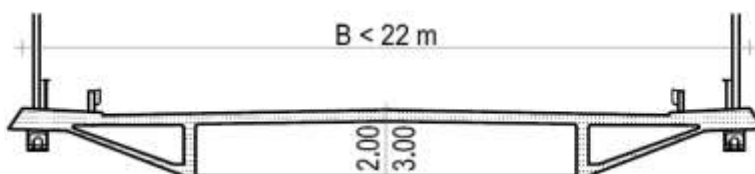
Za mostove manjih raspona od 40 – 80 m (100 m) i razmaka između kosih zatega od 5 – 10 m racionalna je primena AB prednapregnutih greda sa pločastim poprečnim presekom za širine mostova do 15 m i zategama u dve ravni na ivicama konstrukcije (slika 9.2.30).



Slika 9.2.30: Betonska pločasta greda za manje mostove sa zategama

Mala konstruktivna visina greda je jedna od prednosti ovoga sistema i varira u širokim granicama od $l/40$ – $l/160$. Zbog bočne stabilnosti širina mostova zavisi od veličine raspona.

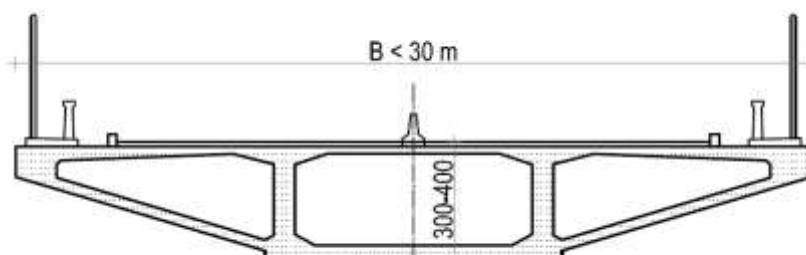
Za mostove glavnog raspona 100 – 200 m, razmaka između kosih zatega od 10 – 15 m i za širine mostova do 22 m sa zategama u dve ravni konstruišu se olakšani betonski otvoreni preseki greda visine 2,0 – 3,0 m (slika 9.2.31).



Slika 9.2.31: Betonska greda za mostove sa kosim zategama glavnog raspona 80 – 150 m.

Za mostove sa kosim zategama kod kojih su razumni i racionalni betonska greda raspona od 200 – 300 m, razmak između kosih zatega

15 – 20 m i širina mosta do 30 m preporučuje se zatvoreni sandučasti tročelijski presek visine 3,0 – 4,0 m (slika 9.2.32).

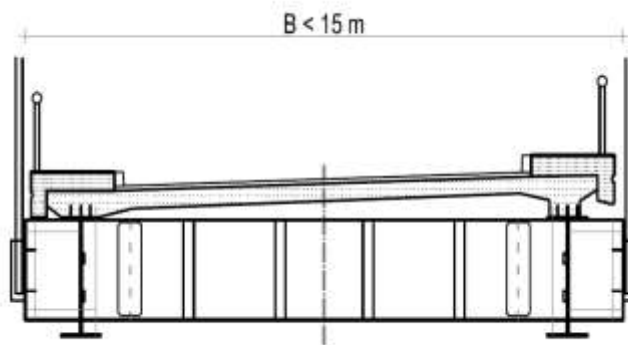


Slika 9.2.32: Betonska greda za mostove sa kosim zategama čiji je glavni raspon 200 – 350 m

Za raspone veće od 300 m težina grede je znatno povećana što ima za posledicu veću potrošnju skupih kablova i odražava se na ukupnu cenu objekta.

Primenom spregnutih preseka grede znatno se smanjuje težina grede, a time i količina kablova. Montaža čelične konstrukcije i

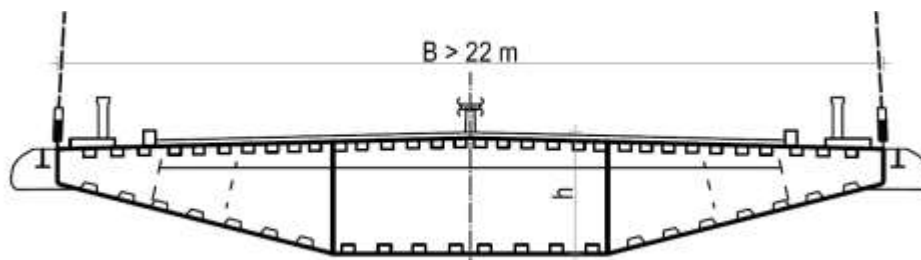
betoniranje kolovozne ploče su relativno jednostavni i brzi. Za raspone 200 m - 250 m i širinu mosta do 15 m pogodni su otvoreni preseki sa dva glavna čelična zavarena nosača sa punim zidom visine $\sim 1/100$ i sa indirektnim ankerovanjem zatega za spregnutu gredu (slika 9.2.33).



Slika 9.2.33: Spregnuta greda za raspone do 250 m i širine do 15 m

Za raspone od 250 – 400 m i širine 22 – 30 m poprečni preseki su zatvoreni sandučasti tročelijski sa aerodinamičkim oblikovanim spoljašnjim ćelijama. Veliki rasponu se ne mogu koristiti za uske mostove zbog torzione stabilnosti i zadovoljavanja uslova da je $L/B > 10$ m.

Čelični preseki sa ortotropnom kolovoznom pločom su bez konkurencije za širine mostova veće od 22 m i širok spektar raspona od 400 – 1000 m. Nastojanje nekih projektanta da betonske grede primenjuju i za raspone veće od 300 m i spregnute preseke za raspone veće od 400 (450 m) ne može da ponudi racionalna rešenja.



Slika 9.2.34: Opšti koncept preseka čelične grede za raspone veće od 400 m i širine veće od 22 m.

U poslednjih 50 godina u svetu je izgrađen veliki broj mostova na putevima sa kosim zategama sa gredama od betona, čelika i spregnutog preseka konstrukcija različitih poprečnih preseka.

9.2.6.4 Zatege mostova sa kosim zategama

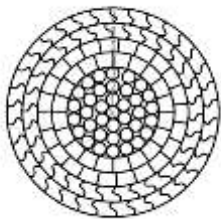
Kose zatege (kablovi) su noseći zategnuti elementi mostova sa kosim zategama koji su kruto vezani za gredu i pilone kao elastični oslonci koji preuzimaju statičke i dinamičke uticaje iz grede i prenose ih na pilone.

Zatege se mogu proizvoditi kao:

- kablovi sa zatvorenim spiralnim užadima

- kablovi sa užadima od paralelnih žica
- kablovi od paralelnih žica.

Kablovi sa zatvorenim spiralnim užadima imaju tri po obliku različita sloja žica. U jezgru su okrugle žice, zatim slede žice klinastog oblika, a spoljna tri sloja su žice „Z“ preseka (slika 9.2.35). Prednost ovih užadi je dobra zaštita od korozije, jer postoji mehanička zaštita sa žicama Z oblika, veći modul elastičnosti, veći stepen iskorišćenja preseka do 90 %.



Slika 9.2.35: Presek zatvorenog spiralnog užeta

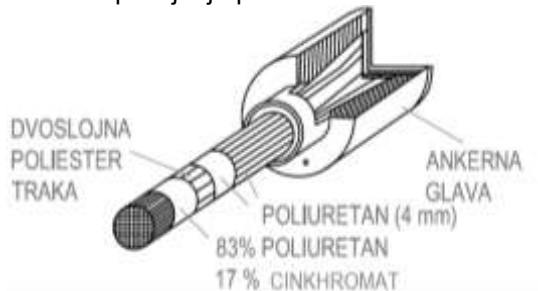
Kablovi sa užadima od paralelnih žica su u primeni od 1970. godine. Snopovi paralelnih žica pripremaju se u radionici, namotavaju na koture i transportuju na gradilište što je znatno smanjuje cenu kablova.

Prednosti ovih kablova su:

- modul elastičnosti je približno isti kao modul elastičnosti konstrukcionog čelika
- otpornost na zamor je veća za 20 - 30%
- mala razlika između stvarne i računске sile loma
- prethodno istezanje kablova nije potrebno.

Nedostaci:

- zaštita od korozije
- osetljivost na savijanje pri montaži
- dodatni sekundarni naponi usled lokalnog savijanja
- teško previjanje preko sedla.



Slika 9.2.36: Antikorozivna zaštita i ankerna glava kablova sa užadima od paralelnih žica

Kablovi od paralelnih žica

Kablove od paralelnih žica ϕ 7 mm predstavljaju dalji napredak u izradi i montaži zatega i korišćeni su kod velikog broja

mostova, pored ostalog i za mostove u Beogradu i Novom Sadu (slika 9.2.37).

Karakteristike ovih kablova su:

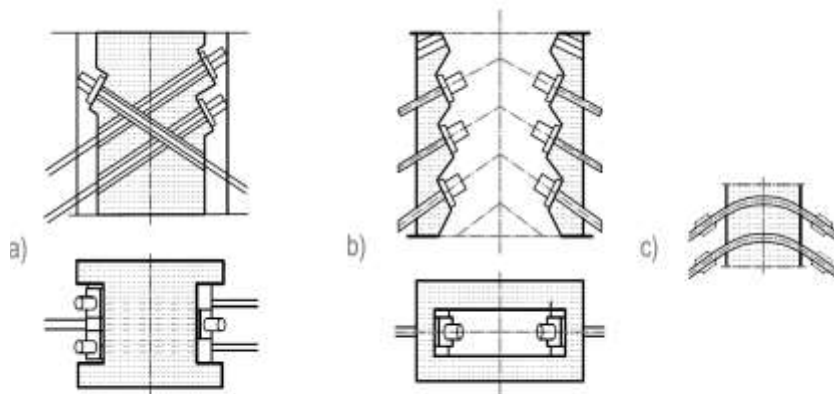
- upotreba visokovredne hladno vučene žice ϕ 7 mm za prednaprezanje građevinskih konstrukcija sa čvrstoćom na zatezanje 1700 N/mm^2
- kompaktni snop od 50 – 350 žica okruglog preseka ϕ 7 mm
- konstantan modul elastičnosti koji je jednak modulu elastičnosti pojedinačnih žica
- primena ankera iz sistema za prednaprezanje betonske konstrukcije
- zaštita od korozije na celoj dužini kabla
- kompletno predfarikovani kablovi sa ankerskim glavama



Slika 9.2.37: Presek kabla od paralelnih žica

Konstruisanje ankera na gredi i pilonima prilagođava se materijalu i konstrukciji grede i pilona, ako i vrsti i preseku (sili) i geometriji kosih zatega. Ankerisanje na gredi može da bude direktno i indirektno, pa se tome prilagođavaju i detalji ankerisanja. Na vrhu pilona su obično fiksni ankeri, a na gredama pomični ankeri preko kojih se uvodi sila u kablove. Na vrhu pilona zatege mogu da budu prekinute i ankerisane ili neprekinute i oslonjene preko sedla.

Ankerisanje u punima pilonima je karakteristično za manje raspona i manje visine pilona. Nedostatak je izrada skele oko pilona za pristup glavama za ankerisanje. Prednosti ankerisanja u šupljim pilonima su lakša montaža i inspekcija, dobra zaštita zona ankerisanja. Nedostatak su velike sile cepanja. Kod raspona preko 400 m vrh pilona je bolje konstruisati od čelika jer se tada lakše rešava ankerisanje kosih zatega.

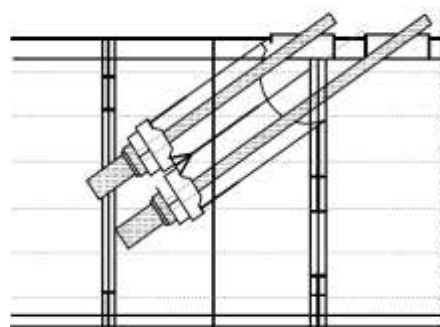


- a) Pun pilon sa unakrsnim ankerisanjem
 b) šuplji pilon sa prednapregnutim presekom pilona
 c) Neprekinute zatege na sedlu betonskog pilona

Slika 9.2.38: Ankerisanje kablova u glavi betonskog pilona



Slika 9.2.39: Detalj ankerisanja kosog kabla od paralelnih žica u betonskoj gredi



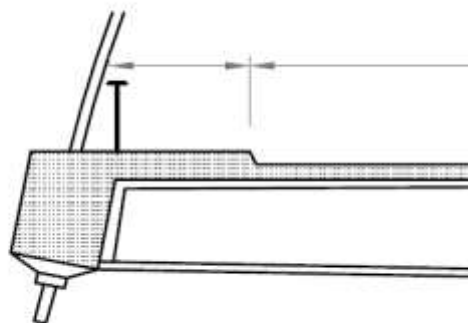
Slika 9.2.41: Pomični ankeri kablova mosta većih raspona na čeličnoj gredi

Ankerisanje u presecima čeličnih i spregnutih greda je specifično i konstruiše se za svaki most u skladu sa tipom, presekom i geometrijom kabla i konstrukcijom poprečnih greda.



Slika 9.2.40: Pomični anker za manji most na čeličnoj gredi

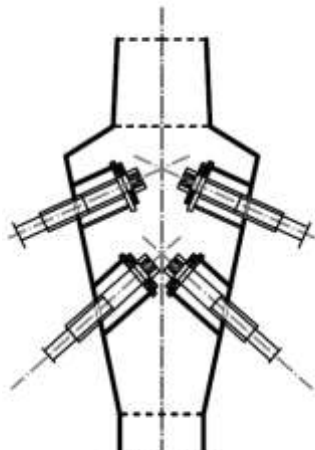
Ankerisane kablova u gredi sa spregnutim presekom može biti indirektno za čelične nosače kao što je pokazano na poprečnom preseku slike 9.2.33 ili preko proširenih i zadebljanih ivičnih delova preseka (slika 9.2.42).



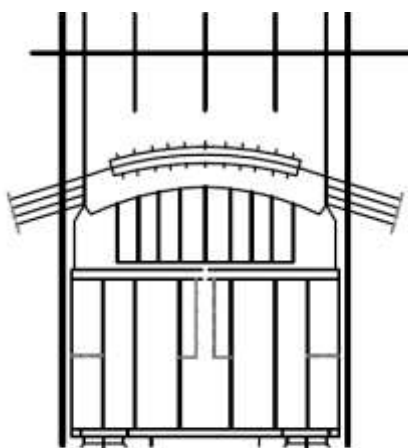
Slika 9.2.42: Ankerisanje zatega u spregnuti presek grede

Ankerisanje fiksnih – nepomičnih kablova u glavi čeličnih pilona je veoma različito i zavisi prvenstveno o veličini raspona i širine mosta i broja i preseka kablova. Kablovi sa užadima

od paralelnih žica kao i kablovi od paralelnih žica moraju se ankerovati u pilone, jer je njihovo prevođenje preko sedla neizvedivo.



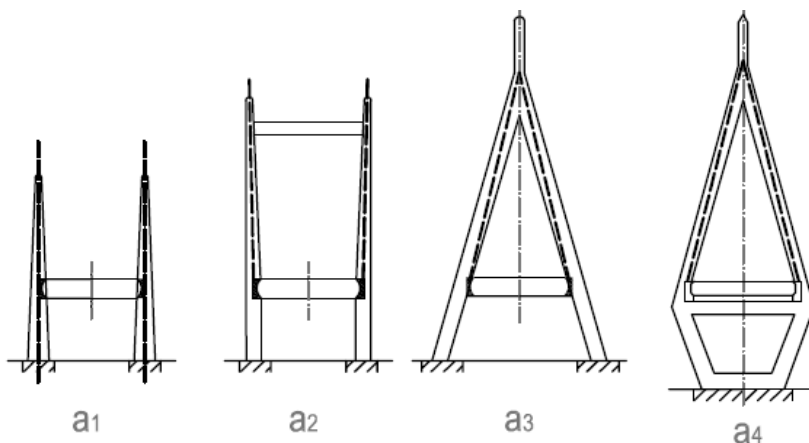
Slika 9.2.43: Ankerisanje kablova od paralelnih užadi na glavi čeličnog pilona manjeg mosta sa zategama



Slika 9.2.44: Prevođenje neprekinutog kabla sa zatvorenim spiralnim užadima preko glave čeličnog pilona

9.2.6.5 Piloni mostova sa kosim zategama

- Piloni su noseći elementi opterećeni pretežno normalnom silom koju preuzimaju od kosih zatega. Momenti savijanja nastaju usled sila kočenja, temperature vetra i potresa.
- Piloni privlače pažnju više od drugih nosećih elemenata mostova sa kosim zategama, pa pored saobraćajnih i konstruktivnih uslova treba da ispune i estetske uslove. Visine pilona varira od 20 – 300 m što otvara široke mogućnosti konstruktivnog oblikovanja.
- Piloni moraju da budu kruto ili zglobno povezani za grede ili da se oslanjaju (kruto ili zglobno) na vrhu stubova, odnosno na temeljne grede. Materijal za pilone je AB, ABP ili čelik. Kod većih mostova koristi se i kombinacija betona i čelika za vrh pilona ili spregnuti preseći.
- Za ankerisanje sistema sa više zatega u dve ravni mogu da se konstruišu piloni prema slici 9.2.45.



Slika 9.2.45: Osnovni tipovi pilona za ankerisanje u dve ravni

Na slici a1 je slobodni konzolni pilon bez poprečne veze (poprečne rigle) između stubova tako da omogućava veće deformacije grede. Dvostubni piloni bez rigle uklešteni su u gredu. Ovaj tip pilona se koristi za lake pešačke mostove.

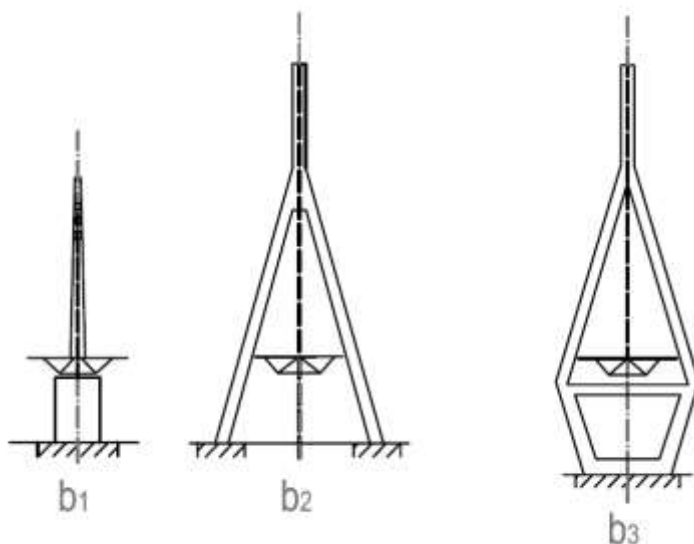
Na slici a2 je prikazan portalni pilon kod koga su stubovi pri vrhu spojeni poprečnom riglom. Peta portala se direktno oslanja na vrh stubova bez povezivanja sa gredom po ugledu na viseće mostove.

Na slici a3 je pilon A oblika koji doprinosi torzijonoj krutosti celog sistema. Nastao je u želji da portalni pilon ne ulazi u slobodni profil mosta. Vrh pilona se bočno ne deformiše i ne unosi dodatne momente savijanja kao što je to slučaj kod pilona a1 i a2. Kod A pilona je dobro da odnos širine prema visini pilona b/l

bude od 0,3 – 0,7, što daje manji ugao stubova A pilona, a time je veća horizontalna sila na dnu pilona. Pri velikom nagibu stubova A pilona pod gredom se konstruiše poprečna veza, a noge pilona se zakose prema unutra što je prikazano na slici a4.

Pilon sa slike a4 pruža mogućnost više oblikovno konstruktivnih varijanti sa nagibom i visinom dela pod gredom i vrha pilona. Ako nedostaje prostora za ankerisanje, vrh pilona se bočno raširi tako da obe ravni zatega imaju svoju liniju ankerisanja.

Za ankerisanje sistema sa više zatega u jednoj ravni u osovini grede piloni se konstruišu prema slici 9.2.46. Pojavili su se sa intenzivnom gradnjom autoputeva i širokih gradskih mostova tako što je pilon postavljen u razdelnoj traci AP.



b1 je pilon samac ankerisan u gredu

b2 je A pilon ankerisan u stub ili u temelj

b3 je modifikovan A pilon ankerisan u stub ili u temelj

Slika 9.2.46: Osnovni tipovi pilona za ankerisanje u jednoj ravni

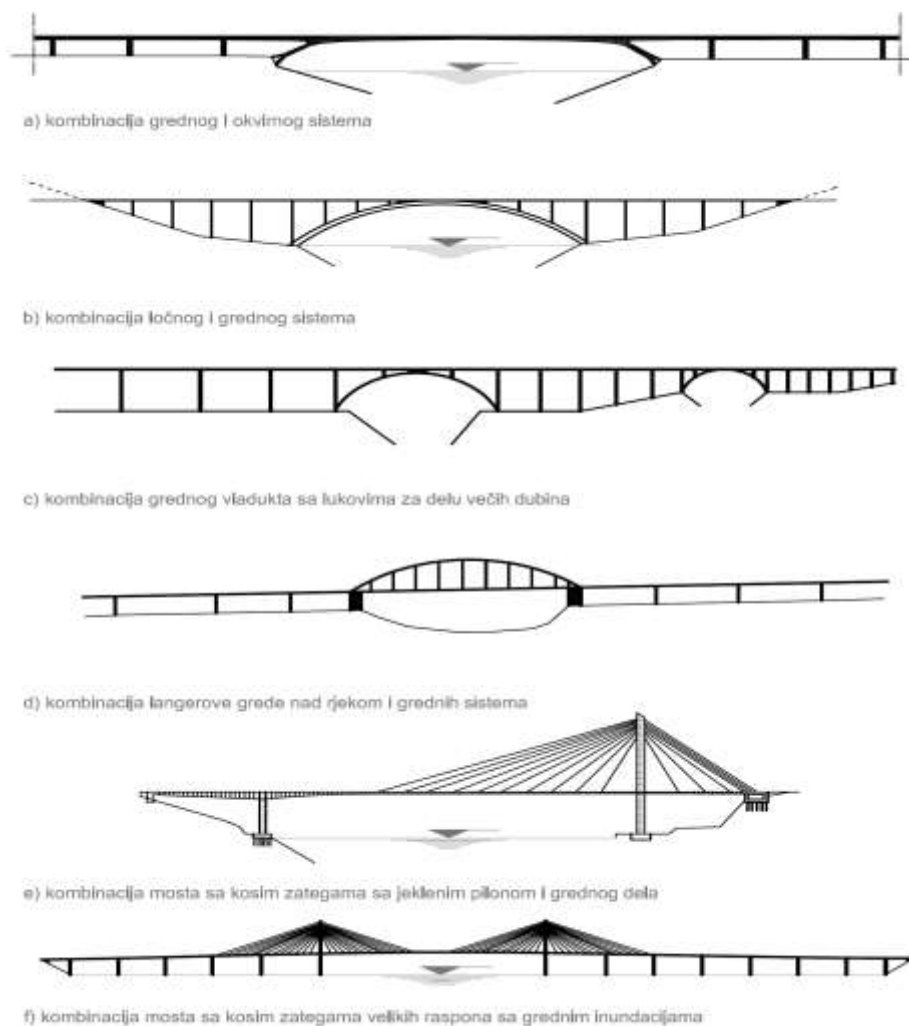
Ekonomična rešenja drumskih mostova sa kosim zategama mogu da se ostvare ako se dosledno i pravilno uvažavaju specifične osobine betona i čelika i naponska stanja u tri noseća elementa: gredi, zategama i pilonima.

9.2.7 KOMBINOVANI SISTEMI MOSTOVA I VARIJANTNA REŠENJA

Za duže i posebno duge mostove nad širokim i na pojedinim potezima dubokim vodenim ili suvim preprekama projektuju se kombinovani sistemi mostova.

Na slici 9.2.47 shematski su prikazane najčešće kombinacije nosećih sistema savremenih mostova koji premošćavaju vodene i suve prepreke.

Pored kombinacije nosećih sistema moguća je i kombinacija materijala u zavisnosti od veličine raspona, tehnologije izgradnje, geološko morfoloških osobina lokacija i stanja na tržištu.



Slika 9.2.47: Kombinovani sistemi putnih mostova

Na slici a) prikazana je kombinacija okvirne konstrukcije sa kosim stubovima koja premošćava duboke teško pristupačne ili plovne profile sa rasponima od 50 – 250 m i gredne konstrukcije na obe obale.

Na slici b) duboka plovna prepreka je premošćena lukom raspona 100 – 300, a gredna konstrukcija povezana sa nadlučnom konstrukcijom. Ako se teme luka spusti, gredna i nadlučna konstrukcija čine celinu i

mogu da se grade istom tehnologijom – nagurivanjem.

Na slici c) prikazana je gredna konstrukcija vijadukta kod koje je na delovima dubljeg terena predviđena lučna konstrukcija. Lukovima se, pored ostalog, prekida monotomija objekta i postiže vizuelni efekat.

Na slici d) je za premošćavanje veće reke u uslovima niske nivelete i ograničene konstruktivne visine primenjena „Langerova

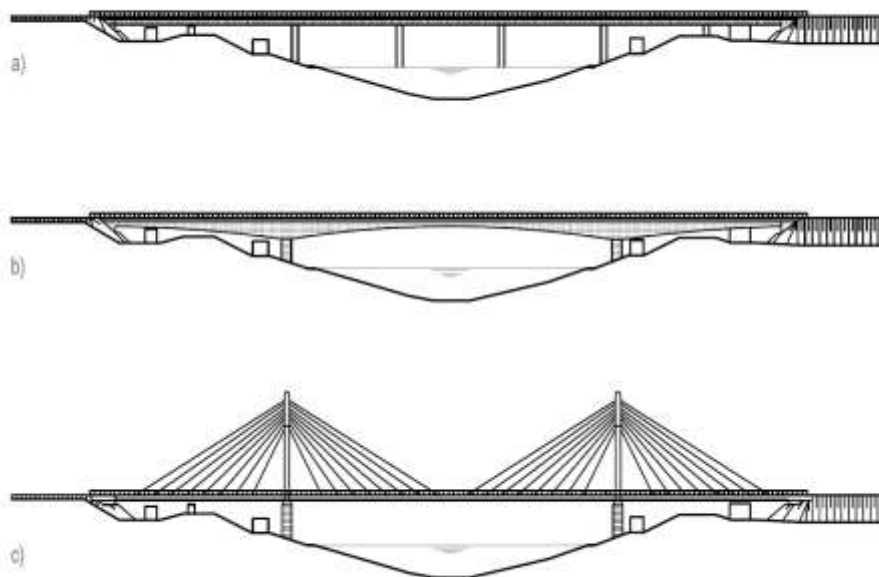
greda“ većih raspona sa obostranom grednom konstrukcijama manjih raspona.

Na slici e) data je kombinacija mosta sa kosim zategama sa jednim pilonom na obali i gredne konstrukcije.

Za premošćavanje širokih plovnih reka ili morskih zaliva najčešće se projektuju mostovi sa kosim zategama velikih raspona od 200 – 1000 m sa dva simetrična A pilona,

koji se produžavaju na gredne konstrukcije većih raspona (skica f).

Optimalna dispoziciona rešenja nekog mosta mogu da se dobiju pomoću varijanti veličine raspona, rasporeda stubova, poprečnih preseka i materijala unutar jednog nosećeg sistema ili pomoću varijanti nosećih sistema. Na slici 9.2.48 su prikazana tri varijantna rešenja grednog mosta ukupne dužine 250 m.



Slika 9.2.48: Varijantna rešenja mosta dužine 250 m

Varijanta a) je gredni kontinualni most manjih raspona, konstantne visine sa dubokim temeljenjem dva stuba u dubokoj vodi.

Varijanta b) je gredni most sa tri raspona promenljive visine sa parabolničnim intradosom. Veliki srednji raspon ima dvojnju dužinu krajnjih raspona. Veliki raspon omogućava temeljenje van vode i jednostavnu konzolnu gradnju.

Varijanta c) je most sa kosim zategama sa dva A pilona istih raspona kao i kod varijante b).

Analizom postupaka gradnje, količina i cena radova za građenje je usvojena varijanta b). Varijanta c) bila je skuplja za približno 15 %.

Za most ukupne dužine 200 m sa niveletom na visini 65 m i strmim nesimetričnim obalama izrađeno je pet varijantnih rešenja (Slika 9.2.49). Nivo vode 1 je prirodni nivo reke u toku gradnje. Nivo 2 je nivo akumulacije buduće hidroelektrane. Obale su kamenite, a u koritu reke je nanos, pa je potrebno duboko temeljenje.

Varijanta a) je betonski most raspona 50 + 100 + 50 koji je predviđen da se gradi slobodnim konzolnim postupkom.

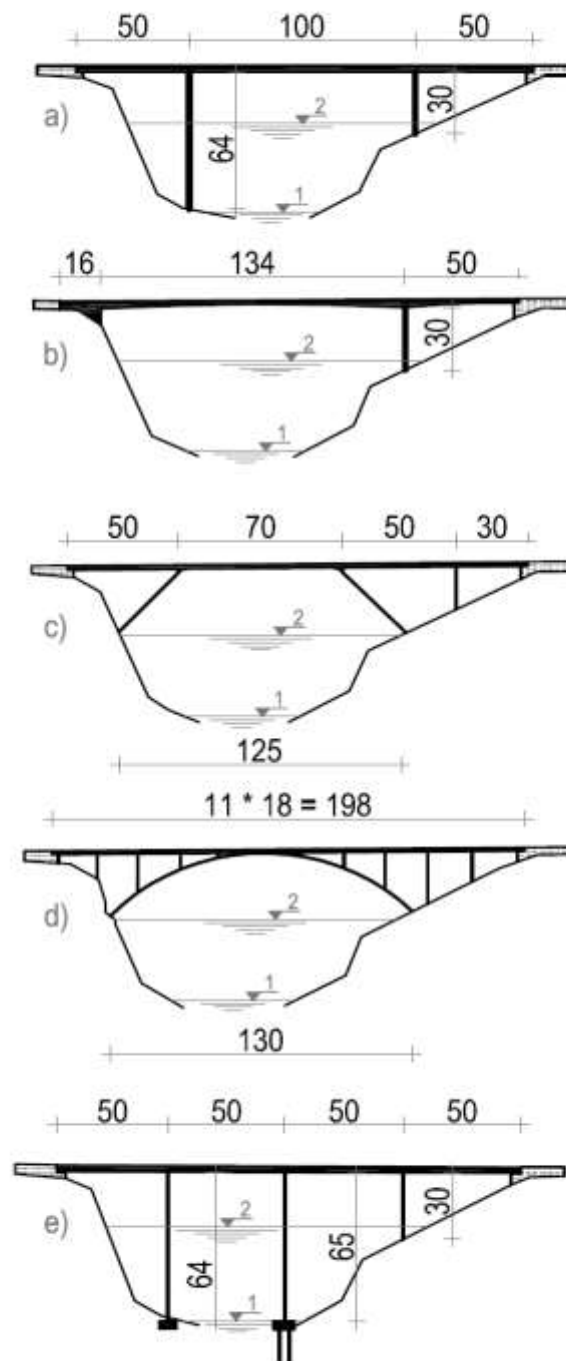
Varijanta b) je čelični most raspona 16 + 134 + 50 bez visokog stuba u vodi kod koga je predviđeno da se glavni raspon gradi konzolno. Negativna reakcija na malom rasponu je geotehničkim ankerima uneta u kamenu obalu.

Varijanta c) je okvirna betonska konstrukcija raspona peta 125 m koja bi se gradila na skeli.

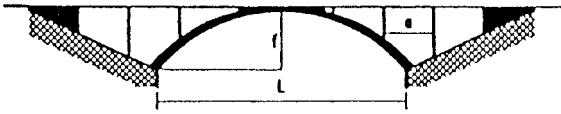
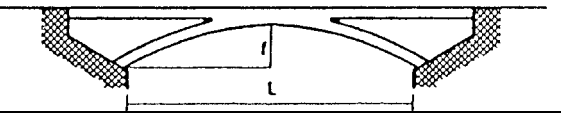
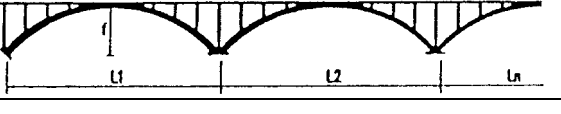
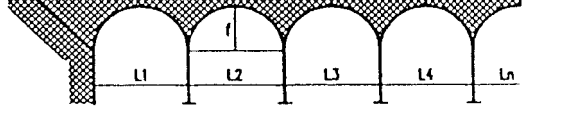
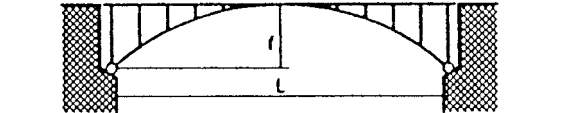
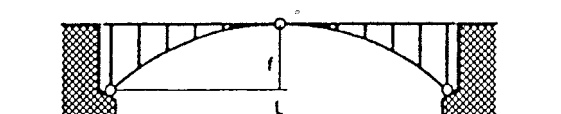
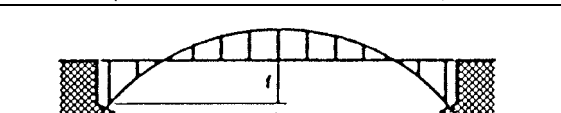
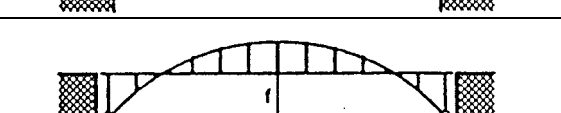
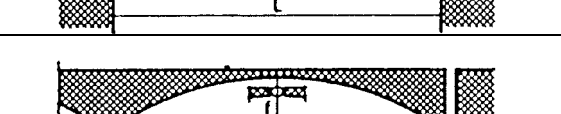
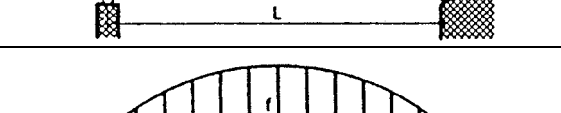
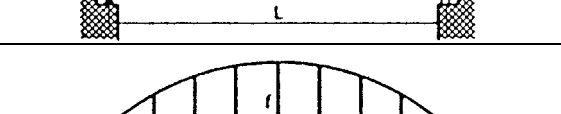
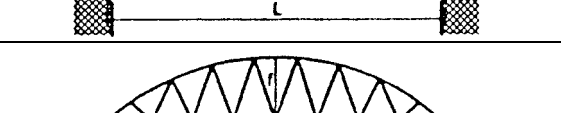
Varijanta d) je betonska lučna konstrukcija raspona 130 m. Lukovi bi se gradili na skeli.

Varijanta e) je gredna konstrukcija sa četiri jednaka raspona po 50 m i dva visoka stuba u koritu reke. Rasponska konstrukcija je montažna diskontinualna.

Varijanta e) je bila najjeftinija za građenje, pa je i usvojena. Pri tome su zanemareni troškovi održavanja i trajnost mosta. Visoki stubovi u vodi koja se ledi i često menja nivo su izloženi oštećenjima.



Slika 9.2.49: Varijantna rešenja mosta dužine 200 m na visini 65 m

	Statički sistemi lučnih mostova	Naziv statičkog sistema luka	Granice racionalnih raspona
1		Uklješteni luk	40 – 400
2		Elastično uklješteni luk	40 – 150
3		Kontinualni uklješteni lukovi	60 – 200
4		Kontinualni betonski svodni manjih raspona na visokim stubovima	20 – 50
5		Dvozglubni lukovi	80 – 500
6		Trozglubni lukovi	60 – 200
7		Uklješteni lukovi sa upuštenim kolovozom	100 – 300
8		Dvozglubni luk sa upuštenim kolovozom	100 – 300
9		Dvozglubni lučni zidovi	40 – 100
10		Greda ojačana vitkim lukom (Langerova greda)	80 – 200
11		Luk sa zategom	80 – 200
12		Luk sa zategom i kosim vešaljka „Nelsonov luk“	100 – 250