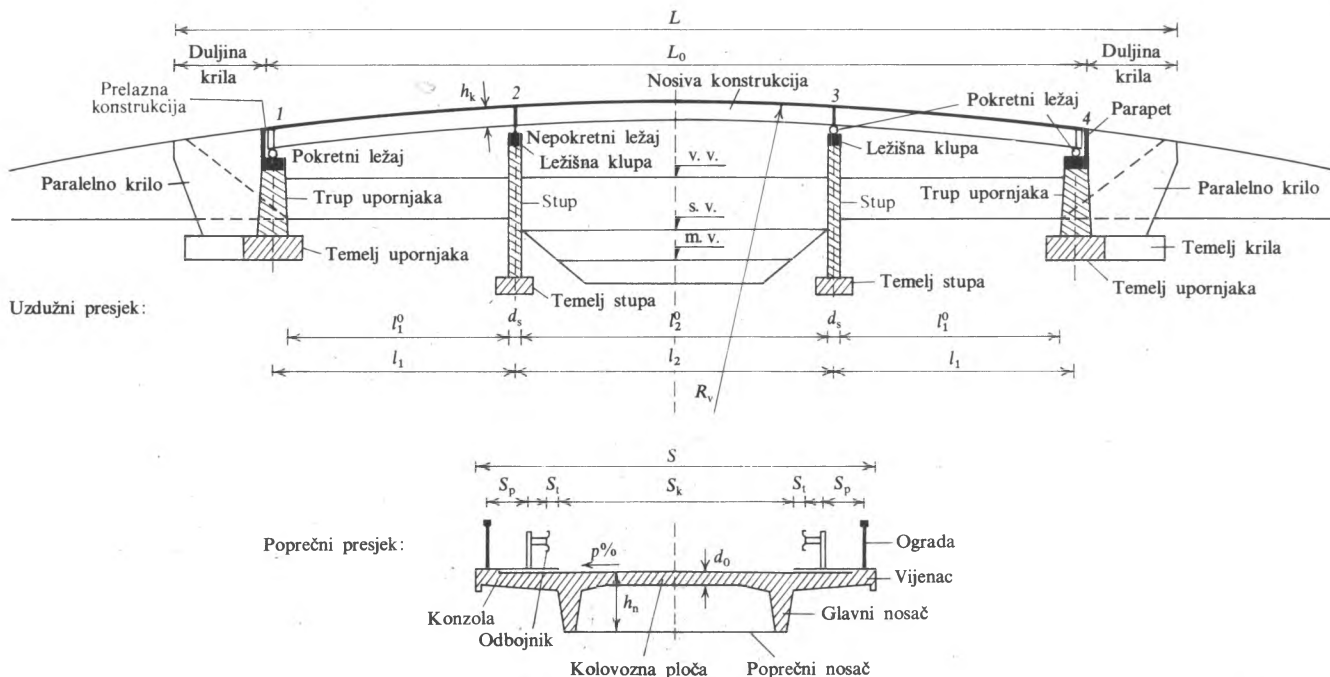


MOSTOVI, MASIVNI, danas građevine od betona, armiranog i prednapregnutog betona, a gradili su se do pred kraj XIX st. od kamena (v. *Građevni kamen*, TE 6, str. 238). Prema statičkom sustavu masivni mostovi mogu se svrstati u gredne, lučne, okvirne, viseće, ovješene, rešetkaste i zategnute mostove.

GREDNI MOSTOVI

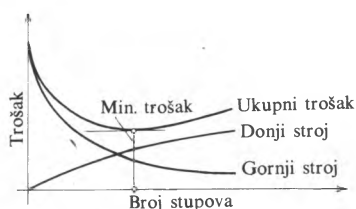
Osnovne dimenzijske karakteristike mosta jesu: duljina, visina i rasponi (sl. 1). Duljina je mosta horizontalni razmak između stražnjih ploha krila upornjaka, a duljina je nosive konstrukcije horizontalni razmak čeonih ploha iznad upornjaka.



Sl. 1. Gredni most. l_1 krajnji raspon, l_2 srednji raspon, l_2^0 srednji otvor, L duljina mosta, L_0 duljina nosive konstrukcije, S širina mosta, S_k širina kolnika, S_t širina zaštitne trake, S_p širina pješačke staze, d_0 debljina kolovozne ploče, h_n visina nosive konstrukcije, R_v polumjer zakrivljenosti niveleto, v. v. velika voda, s. v. srednja voda, m. v. mala voda

Građevna visina je vertikalni razmak između donjeg ruba najnižeg dijela nosive konstrukcije i gornjeg ruba kolnika (za cestovne mostove), odnosno tračnica (za željezničke mostove), a konstrukcijska visina je vertikalni razmak između gornjeg ruba kvadera i gornjeg ruba kolnika, odnosno tračnica. Rasponi su horizontalni razmaci vertikalnih osi ležaja na upornjacima, odnosno stupovima, a otvori su horizontalni razmaci unutrašnjih ploha upornjaka, odnosno stupova.

Dimenzije i broj raspona ovise o funkcionalnim, ekonomskim i estetskim 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 stroja budu minimalni (sl. 2). Na troškove



Sl. 2. Dijagram optimalne dispozicije mosta

donjeg stroja utječe dubina temeljenja i nosivost tla, prisutnost vode, te visina i oblik stupa, a na troškove gornjeg stroja rasponi, širina mosta, opterećenje, materijal od kojeg je nosiva konstrukcija načinjena i statički sustav.

Nosiva konstrukcija

Prosta greda. To je najjednostavniji, ali i najskuplji sustav, budući da se tada pojavljuju najveći momenti naprezanja (sl. 3).



Sl. 3. Most u obliku proste grede

Visina grede obično je konstantna. Vrlo se rijetko primjenjuje konstrukcija sa tzv. ribljim trbuhom, kad je visina grede prilagođena liniji maksimalnih momenata. Kontinuirane grede

izvode se s konstantnom (sl. 4) ili promjenljivom visinom (sl. 5). Tada su momenti po apsolutnoj vrijednosti manji, pa su takve grede ekonomičnije od proste grede.



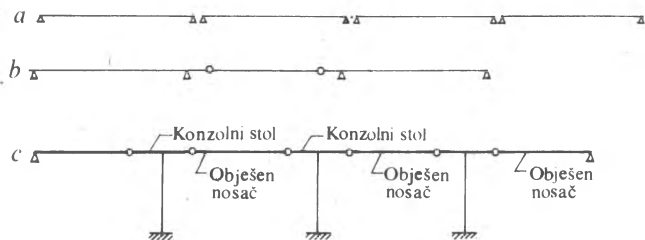
Sl. 4. Most kao kontinuirani nosač konstantne visine



Sl. 5. Most kao kontinuirani nosač promjenljive visine

U grednim mostovima opterećenja se prenose savijanjem. Prosta greda je statički određen sustav, koji se može sastojati od jednog ili više polja (sl. 6a). Prednost mu je jednostavnost i brzina izradbe, a mana više ležaja i spojnice u kolovoznoj ploči. Povezivanjem prostih greda i greda s prepustima pomoću zglobova nastaju Gerberovi nosači (sl. 6b). Danas se dosta primjenjuju konzolni stolovi (sl. 6c). Oni se sastoje od stupova koji na vrhu imaju nosivu konstrukciju tlocrtnog oblika konzolnog stola. Između tih stolova vješaju se pomoću zglobova roštiljne konstrukcije sastavljene od prostih greda. Dobra je strana takvih konstrukcija jednostavnost izradbe, a mana zglobovi, spojnice između polja i veći utrošak materijala.

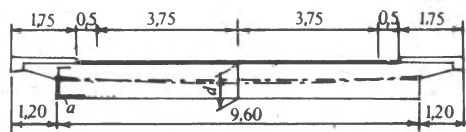
Primjenom kontinuiranih konstrukcija uklanjaju se spomenute mane. Treba težiti upotrebi kontinuiranih konstrukcija zbog mnogo manjih troškova održavanja i mirnije vožnje po njima, jer nema poprečnih spojnica. Ne treba ih se plašiti



Sl. 6. Statički sustavi grednih mostova. a) prosta greda, b) Gerberov nosač, c) konzolni stolovi

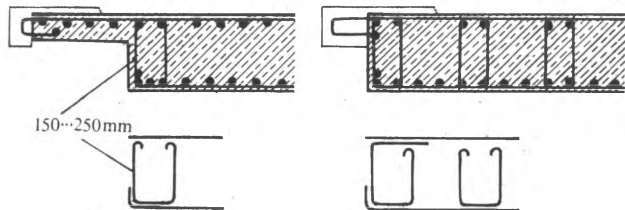
ni kad se grade na slabijem tlu, gdje je moguće diferencijalno slijeganje. Naime, momenti, koji nastaju slijeganjem postepeno nestaju zbog puzanja betona. Ako se pojavi veće slijeganje nekih stupova, konstrukcija se može bez teškoća podići na prvobitnu visinu postavljanjem podlozaka. Povoljno je da su krajnja polja kraća za ~20% od srednjih da se postigne približna jednakost momenata u poljima.

Puna ploča. Armiranobetonska ploča (v. *Ploče i roštilji*) primjenjuje se kao izostatična konstrukcija za raspone do 15 m, a kao kontinuirana za raspone do 25 m. Ako se izrađuje od prednapregnutog betona, ta se granica povećava na 25 m, odnosno na 40 m. Visina armiranobetonske ploče iznosi za jedno polje $\frac{l}{15} \dots \frac{l}{25}$, (gdje je l duljina ploče), a za više polja $\frac{l}{20} \dots \frac{l}{30}$. Kad je ploča od prednapregnutog betona visina je $\frac{l}{20} \dots \frac{l}{30}$ za jedno, odnosno $\frac{l}{25} \dots \frac{l}{35}$ za više polja. Visina mora biti veća ako ploče imaju vute. Ploča je najjednostavniji nosivi sustav. Armatura je jednostavna, potrebna je najmanja količina oplata, a ugrađivanje je lako. Mana je velika količina betona i velika težina, što povećava momente koji djeluju na ploču, te na stupove i upornjake. Gradi se pomoću skela, a u posljednje vrijeme i montažno. Montažna gradnja naročito je pogodna kad se mostovi grade iznad postojećih cesta, jer tada nema skela koje smetaju prometu. Nije preporučljivo graditi suviše velike konzole za smještaj pješačkih staza, jer su tada rubovi ploča veoma opterećeni. Tada je potrebna deblja ploča i jača armatura na rubovima (sl. 7).

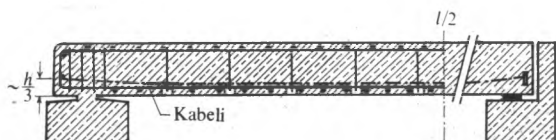


Sl. 7. Puna ploča s pojačanim rebrima

U estetskom pogledu povoljno djeluju trapezasti i zaobljeni presjeci, jer se, gledajući sa strane, vidi samo vijenac, pa konstrukcija izgleda vrlo vitka. One se proračunavaju uz pretpostavku da je srednji dio napregnut na savijanje i torziju.



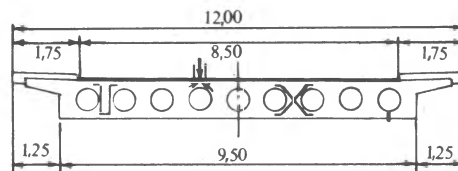
Sl. 8. Armatura ploče



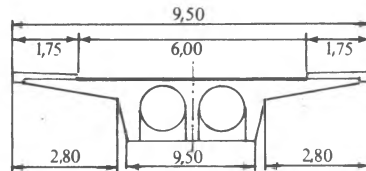
Sl. 9. Kabeli za prednaprezanje ploče

Kad se izvodi ploča s mekom armaturom, preporuča se poprečnu armaturu staviti ispod glavne armature u donjoj zoni, a iznad glavne u gornjoj zoni (sl. 8). Ta se armatura sastoji od profila s promjerom od 10-14 mm. Ako se ploče prednaprežu čeličnim užetom (kabelnim užetom, kabelom), ono se sidri u prostim gredama u donjoj trećini visine, a ne u težištu presjeka (sl. 9). Takav je položaj sidara bolji radi preuzimanja posmičnih naprezanja.

Šuplja ploča. Svrha je takvih ploča smanjenje vlastite težine. Primjenjuju se kad su debljine ploča veće od 70 cm (sl. 10). Šupljine mogu biti okrugle ili bilo kojeg drugog oblika. Statički proračun provodi se kao da su pune, uz uvjet da su poprečna rebra izvedena na međusobnom razmaku manjem od 7 m. Šupljine se izvode pomoću limenih ili kartonskih cijevi s izolacijom. Potrebno ih je usidriti da ih uzgon ne izbaci iz njihova položaja (sl. 11).

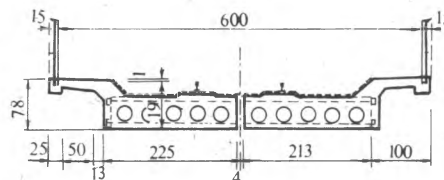


Sl. 10. Šuplja ploča

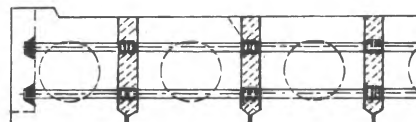


Sl. 11. Sidrenje cijevi za izvedbu šupljina u pločama

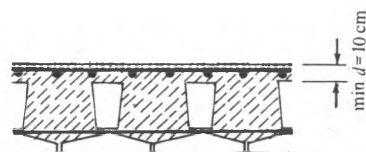
Montažna ploča. Danas se nastoji ostvariti industrijska gradnja mostova. Prednost je takve izvedbe visoka kvaliteta, ušteda na oplati i skeli, brza gradnja i slobodan gabarit ispod mosta za vrijeme gradnje. Izrađuju se od armiranog i od prednapregnutog betona prema rasponu i rasploživim sredstvima za montažu (sl. 12). Montažna gradnja osobito je razvijena u SSSR. Ploče se sastoje od užih dijelova čitave duljine. Međusobno se spajaju tako da se između njih ostavlja slobodan prostor širine 15-20 cm, koji se naknadno ispunja betonom (sl. 13). Drugi je način izvedbe, da se elementi tokom proizvodnje betoniraju tako da prethodni čini oplatu za sljedeći element. Istim se redom ugrađuju u mostnu konstrukciju. Međusobno su povezani na ležajima i u sredini kon-



Sl. 12. Montažna šuplja ploča za željeznički most



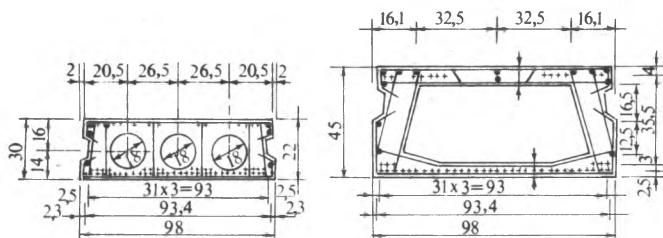
Sl. 13. Spajanje montažnih elemenata ploče



Sl. 14. Polumontažna izvedba ploče

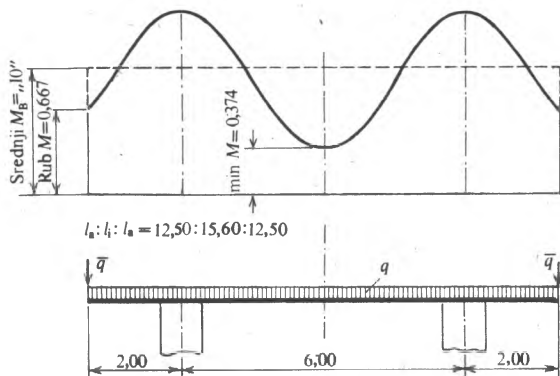
strukcije poprečnim kabelnim užetima. Mogu biti i bez tih veza, samo s uzdužnim zglobovima. Treći je način izrada nosača u obliku obrnutog slova T. Poslije njihove montaže, betonira se gornji dio ploče (sl. 14).

Šuplje ploče izvide se u vrlo različitim oblicima (sl. 15).



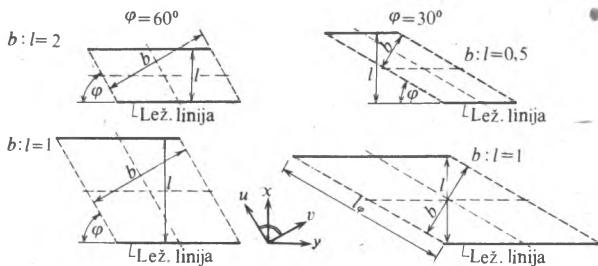
Sl. 15. Poprečni presjeci dvaju montažnih elemenata šupljih ploča

Kontinuirane ploče leže bez poprečnih spojnica na oba upornjaka, te na jednom ili više stupova. Iz statičkih razloga povoljno je da rasponi krajnjih polja iznose 80% od raspona srednjih polja. Proračunavaju se kao ploče ako je omjer širine i raspona manji od 2,5. Na temelju pokusa na modelima utvrdilo se da poprečna raspodjela ležajnih momenata, već prema tipu oslanjanja, jako varira (sl. 16).

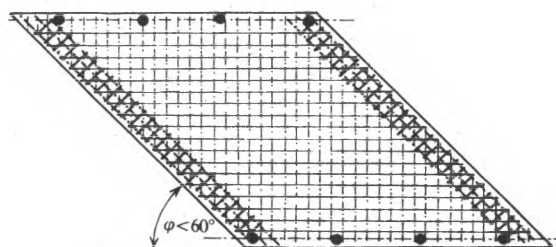


Sl. 16. Poprečna raspodjela ležajnih momenata u uzdužnom smislu kad je greda poduprta sa dva stupa

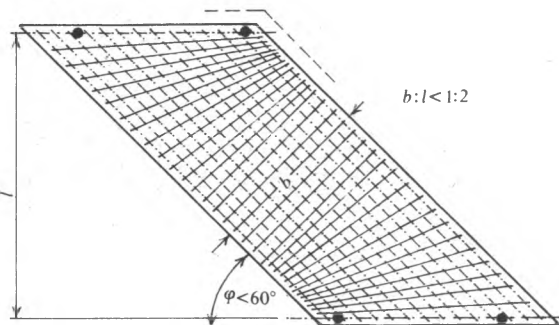
Kose ploče karakterizirane su kutom zakošenja φ te omjerom širine ploče b i raspona l (sl. 17). Za $\varphi > 60^\circ$ i $b/l \geq 0,5$ treba staviti armaturu paralelno s rubovima. Kad je $\varphi < 60^\circ$,



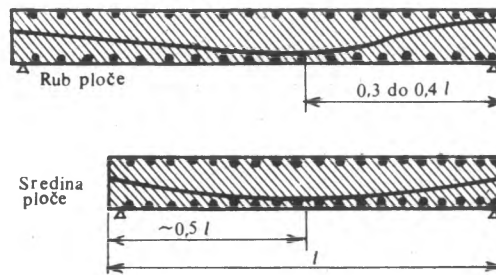
Sl. 17. Karakteristike kosih ploča



Sl. 18. Donja armatura ploče kad je kut $\varphi < 60^\circ$



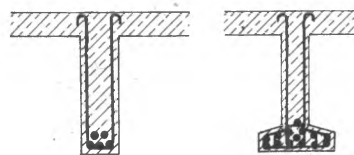
Sl. 19. Armatura uske ploče



Sl. 20. Smještaj kabela na rubu i u sredini kose ploče ($\varphi < 60^\circ$)

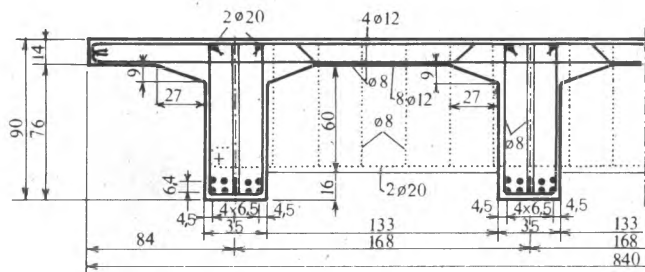
stavlja se glavna armatura okomito na liniju ležaja ili paralelno sa slobodnim rubovima, što ovisi o širini ploče, a razdjelna armatura okomito na glavnu (sl. 18). Slobodne rubove treba pojačati uzdužnom armaturom i vilicama. U uske ploče od prednapregnutog betona kabeli se stavljaju paralelno sa slobodnim rubom, a poprečni okomito na njih (sl. 19). Kad je $\alpha < 60^\circ$, srednji se kabeli postavljaju parabolično, dok oni uz slobodni rub mijenjaju zakrivljenost (zbog momenata upetosti u tupim kutovima ploče) (sl. 20).

Rebrasti presjeci. Poprečni presjek rebrastih nosača sastoji se od jednog ili više rebara međusobno povezanih kolovoznom pločom i poprečnim nosačima. To su vrlo ekonomične konstrukcije, osobito kad se pojavljuju pozitivni momenti. Gornja ploča služi ne samo za prijenos opterećenja u poprečnom smjeru na rebra, nego je ujedno sastavni dio gornjeg pojasa. Povoljna su svojstva takvih mostova relativno male količine betona, i čelika, odnosno kabela, mala težina koja opterećuje donji stroj, te mogućnost montažne gradnje. Mana im je kompliciranija oplata i armatura. Hrnat (sl. 21) mora biti što tanji,

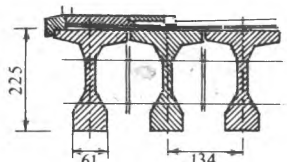


Sl. 21. Hrnat prednapregnutih betonskih nosača

koliko to dozvoljava debljina kabela, jer potrebna armatura nije ovisna o njegovoj debljini, i jer je opasnost od pukotina manja nego kad je hrnat deo. Jačina donjeg pojasa za mostove od prednapregnutog betona mora biti tako odabrana da ne nastanu u njemu prevelika tlačna naprezanja, jer bi se zbog puzanja konstrukcija dizala u luku prema gore. U kontinuiranim nosačima najveći su negativni momenti, zbog kojih nastaje veliko tlačno naprezanje u donjem dijelu hrpta. Zbog toga se hrnat u donjem dijelu često proširuje u pojas ili ploču. Kad se betonira na gradilištu, povoljniji je presjek bez proširenog pojasa. On se, međutim, isplati tek kad su nosači viši. Kad ima tri i više rebara, postavlja se poprečni nosač u sredinu, a kad su rebra vitka, dva poprečna nosača u trećinama raspona. Uzdužni nosači, koji su betonirani na gradilištu, nemaju proširenja donjeg pojasa (sl. 22), dok se montažni nosači izvide



Sl. 22. Uzdužni nosači bez proširenja donjeg pojasa



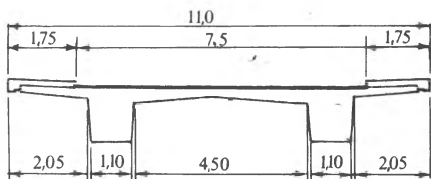
Sl. 23. Nosač s proširenim donjim pojaskom

s proširenim donjim pojaskom (sl. 23). Katkad se izrađuje i kolovozna ploča od montažnih elemenata.

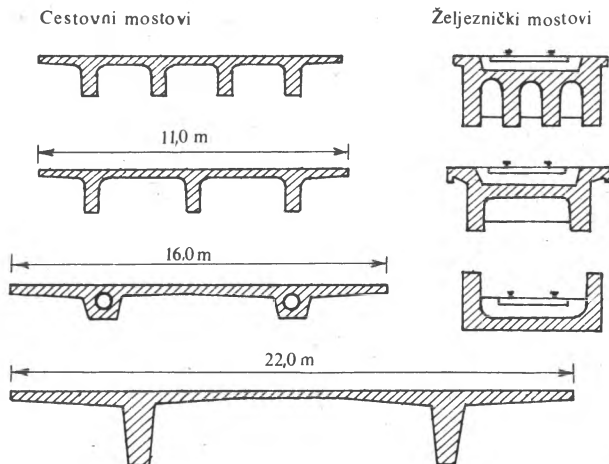
Rebrasti mostovi od armiranog betona danas se vrlo rijetko grade, jer su mostovi od prednapregnutog betona ekonomičniji. Upotrebom prednapregnutog betona smanjuje se opasnost od pojave pukotina, što osigurava njihovu trajnost. Osim toga, potrebno je manje materijala, pa su moguće vitkije konstrukcije s malom konstruktivnom visinom.

Ploča s jednim rebrom primjenjuje se za pješačke mostove. Veliku pažnju treba tada posvetiti sprečavanju pojave pukotina, pa zbog toga valja ugraditi tanju armaturu.

Ploča s dva rebra najjednostavniji je i vrlo ekonomičan tip rebrastih mostova (sl. 24). Primjenjuje se za raspane od 20...35 m. Potrošnja betona iznosi $\sim 0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ površine mosta. Rebra su napregnuta na savijanje i torziju. Poprečni nosači stavljaju se samo uz upornjake na krajevima konstrukcije. Ako se poprečni nosači ugrade u polja između stupova, odnosno između upornjaka i stupova, poprečna se raspodjela opterećenja poboljšava, ali se komplicira gradnja.



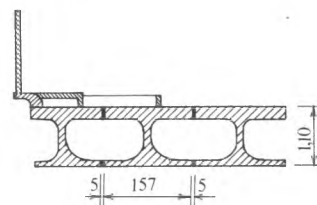
Sl. 24. Ploča sa dva rebra



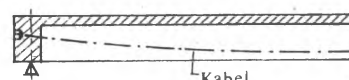
Sl. 25. Razvitak ploča s rebri

Ploča s više rebra. Tendencija razvoja upotrebe poprečnih presjeka ide u smjeru jednostavnosti izvedbe i smanjenja broja rebra (sl. 25). Za konstrukcije betonirane na gradilištu broj rebra ovisi o raspoloživoj konstruktivnoj visini. Što je, naime, manja visina, potrebno je više rebra. Za montažne konstrukcije, osim toga, broj rebra ovisi i o težini pojedinog nosača. Naime, što je teži nosač, potrebna je snažnija lansirna rešetka ili dizalica za njegovo ugrađivanje. Broj rebra, naravno, ovisi i o širini mosta. U nas se većinom primjenjuje montažna gradnja kad se most gradi od prednapregnutog betona. Za raspane 20...35 m i za mostove široke $\sim 12 \text{ m}$ upotrebljavaju se obično po 4 glavna nosača. Za raspane veće od 35 m povoljnije je rješenje sa 3 glavna nosača, ali tada su nosači teži. Mana je presjeka s malo rebra u tome što kolovozna ploča postaje deblja i teža (zbog povećanja raspona). Za velike raspane, veće od 8 m, potrebno je kolovoznu ploču poprečno prednapregnuti.

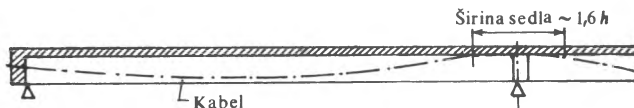
Presjeci s mnogo rebra, od montažnih nosača, primjenjuju se za raspane manje od 25 m (sl. 26). Kad se upotrebljavaju proste grede, treba kabele u sredini polja smjestiti što niže (sl. 27). Kabele u kontinuiranim nosačima valja voditi u poljima po paraboli, a iznad ležaja treba ih smjestiti što više (sl. 28). Radi osiguranja od pukotina treba predvidjeti dovoljno meke armature manjeg promjera.



Sl. 26. Montažni nosači

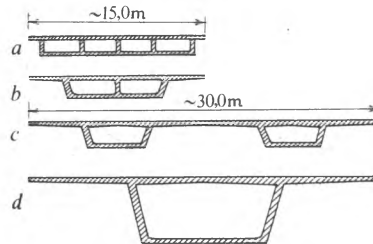


Sl. 27. Smještaj kabela za prednaprezanje u nosaču oslonjenom na dva ležaja



Sl. 28. Smještaj kabela u kontinuiranom nosaču

Sandučasti presjeci primjenjuju se skoro jedino za mostove s rasponom većim od 40 m, a kad su mostovi u krivini, i za raspane 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.



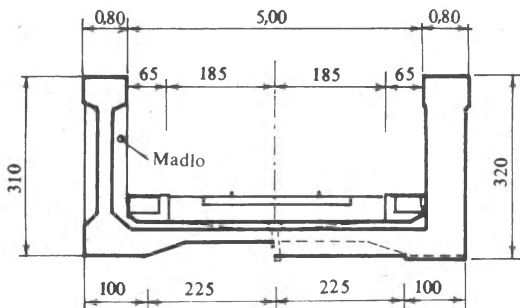
Sl. 29. Razvitak sandučastih nosača

Osim toga, debljina pojasnih ploča može se jednostavno prilagoditi momentima, a kabeli i armatura mogu se lako smjestiti u vlačni pojas. Razvoj upotrebe poprečnih presjeka pokazuje da se upotrebljavaju sve jednostavniji presjeci (sl. 29). Pogodni su također za promjenljive širine, jer se sanduk i konzolne ploče mogu bez poteškoća širiti. Prednost je sandučastih pre-

sjeka, osim toga, u tome što nastaju male deformacije zbog puzanja, jer su naprezanja mala, pa su zbog toga osobito pogodni za konstrukcije od prednapregnutog betona. Za niske konstruktivne visine i velike širine primjenjuju se višecjelasti presjeci.

Iz estetskih i ekonomskih razloga hrptovi se obično zaključuju; nagib iznosi 10...25%. Minimalna je debljina donje ploče 12 cm, a debljina rebara 20 cm, uvećana za promjer zaštitne cijevi kabela. Debljina kolovozne ploče, određena na temelju proračuna, uvijek zadovoljava, ali ne smije biti tanja od 18 cm. Obično nije potrebno ugrađivati poprečne dijafragme osim na ležajima. Sandučasti presjeci primjenjuju se za konstrukcije betonirane na gradilištu i za montažne konstrukcije sastavljene od segmenata.

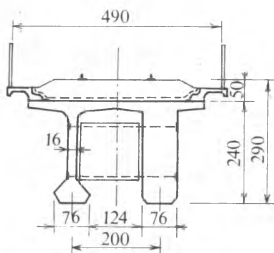
Koritasti presjeci imaju kolovoznu konstrukciju upuštenu između dva glavna nosača (sl. 30). Dobra im je strana da imaju malu konstruktivnu visinu, a mana im je mala tlačna zona glavnih nosača. Danas se primjenjuju za željezničke mostove, a za cestovne mostove samo izuzetno.



Sl. 30. Konstrukcija s upuštenim kolovozom

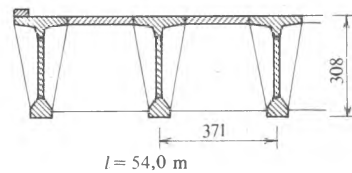
Montažni i polumontažni mostovi. Gradnja montažnih mostova započela je poslije drugoga svjetskog rata. Nastali su kao rezultat nastojanja da se štedi skela i oplata, da se skрати vrijeme građenja, da se može graditi bez obzira na vrijeme i godišnje doba i da se podigne kvaliteta gradnje. Racionalna primjena montažnih objekata uključuje tipizaciju, gdje god je to moguće. Za montažnu gradnju osobito su pogodni dugački mostovi s jednakim rasponima. Veličina elemenata ovisi o postojećim gabaritima na putu od tvornice do gradilišta. Njihova težina, pak, ovisi o raspoloživim dizalicama i mogućnostima transporta. Montažni elementi mogu se izrađivati na gradilištu ili u centralno smještenoj tvornici koja može posluživati više gradilišta. Ako se elementi izrađuju u tvornici, moraju se dopremiti postojećim suhozemnim ili vodenim putovima. Ako se mogu upotrijebiti vodeni putovi, elementi mogu biti znatno teži. Pri gradnji mosta Oosterschelde (Nizozemska), npr., najteži elementi imali su 600 t; dopremani su vodenim putem, a montirani pomoću plovne dizalice.

Razvitak takvih mostova započeo je u Francuskoj. Tipizacija je postigla visoku razinu u SSSR, ČSSR i Mađarskoj, gdje su izrađeni tipovi do raspona od 30 m, a u Poljskoj do raspona od 18 m. Montažni nosači rade se većinom od prednapregnutog betona i različitih presjeka. Za manje raspone to su pločaste izvedbe, eventualno s rupama. Za veće raspone, radi smanjenja težine, izrađuju se uglavnom od I-profila (sl. 31). Gornji po-



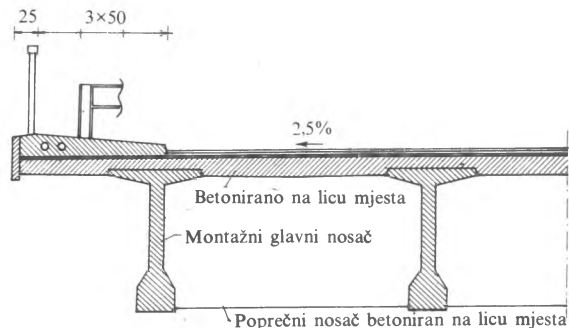
Sl. 31. Željeznički most sa I-nosačima

jas je obično širi od donjega, a to je ujedno kolovozna ploča ako su nosači poredani jedan uz drugi ili samo njen dio ako su nosači razmaknuti (sl. 32). Montažni i polumontažni mostovi



Sl. 32. Razmaknuti montažni nosači

moгу se bez većih teškoća graditi i na kosim prijelazima i krivinama. Kad je most u krivini, vanjski se tlocrtni rubovi rade u krivini ili poligonalno. Razlika između montažnih i polumontažnih mostova je u tome što se montažni sastavljaju samo od montažnih dijelova, dok se polumontažni grade djelomično od montažnih elemenata, a ostali se dijelovi betoniraju na gradilištu (sl. 33). Kad se gradi montažno, gotovi uzdužni elementi stavljaју se jedan uz drugi, te se poprečno povezuju.

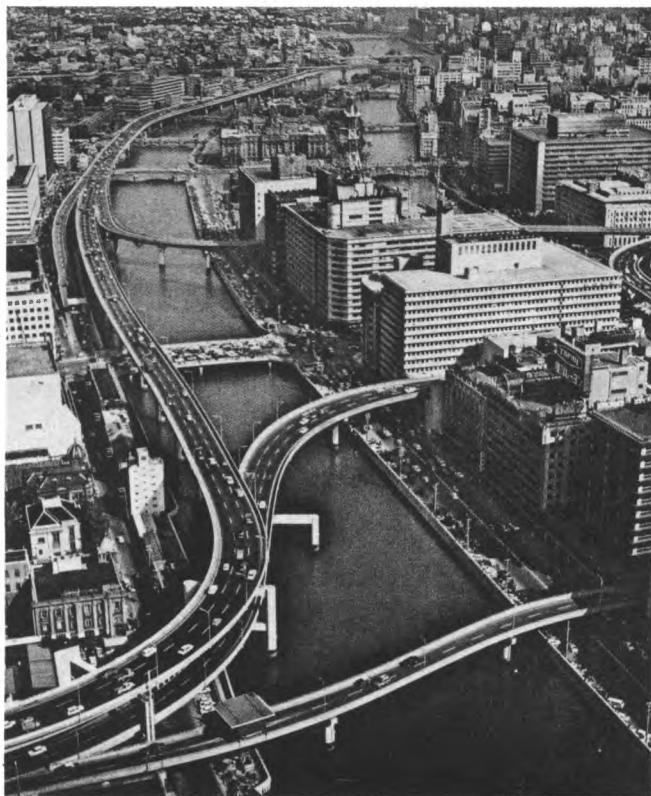


Sl. 33. Poprečni presjek polumontažnog mosta

Takovi se elementi mogu i razmaknuti, ali se tada na njih stavljaју gotovi elementi kolovozne ploče. Polumontažni mostovi imaju montažne glavne nosače, dok se kolovozna ploča i poprečni nosači betoniraju na gradilištu. Takvi se mostovi obično sastoje od izostatičnih sustava pločastog ili roštiljnog tipa. Dobra im je strana jednostavnost gradnje. Mane su: mogućnost racionalne primjene samo do raspona od 40 m, ograničene težine elemenata (zbog transportnih sredstava), potreba ugrađivanja poprečnih spojnica u kolniku, te neekonomičnost izostatičnih sustava s obzirom na kontinuirane. U posljednje vrijeme poprečne se spojnice izbjegavaju povezivanjem susjednih konstrukcija s kontinuiranim kolovoznim pločama. Takvo rješenje ima također svojih mana, a to su lom nivelete iznad stupova i mogućnost pojave pukotina na takvim pločama, koje su izložene velikim naprezanjima. Katkada se spomenuti izostatični sustavi pretvaraju u kontinuirane stvaranjem kontinuiteta. Čini se da je mnogo jednostavnije taj kontinuitet uspostaviti izvedbom u armiranom betonu, jer se taj proces znatno komplicira s prednapregnutim kabelima.

Da se izbjegnu spomenute mane, primjenjuje se izradba mostova u segmentima. Obično su takvi segmenti kratki s punim presjekom. Njihova duljina ovisi o kapacitetu transportnih sredstava. Segmenti se sastavljaju posebnim postupkom u kontinuirane mostove. Tada raspon nije bitan, te je, prema tome, moguće pomoću segmenata graditi mostove s velikim i malim rasponima. Segmenti su sandučastog presjeka.

Visoke ceste. Cestovni promet u velikim gradovima posljednjih desetljeća toliko je narastao da je bilo potrebno iznad postojećih ulica graditi nove ceste. Da se takvim cestama ne bi odijelile gradske četvrti, stavljaју se na mostove koji se nazivaju visoke ceste (sl. 34). Često su visoke ceste dulje građevine. One su važan faktor u rješavanju gradskih križanja i prometa. S obzirom na troškove građenja, visoke su ceste najskuplji dio takvih građevina, a nasipi najjeftiniji. Međutim, odluka o tome da li treba graditi visoku cestu ili nasip, nije

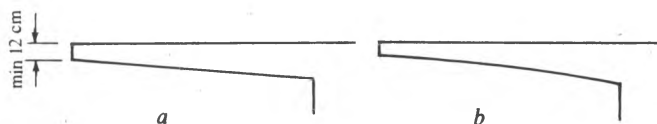


Sl. 34. Primjer visoke ceste

obično ekonomsko pitanje, već prometno-tehnički, estetski, urbanistički, socijalni i kulturni zahtjev. Visoke ceste moraju biti skladno uklopljene u ambijent kojim prolaze. Stoga je važno da su one vitke i lagane, što nije teško postići jer su to mostovi s rasponima 20...40 m. Najčešće su to građevine od armiranog betona. Posebna se pažnja posvećuje rasvjeti, osobito na križanjima.

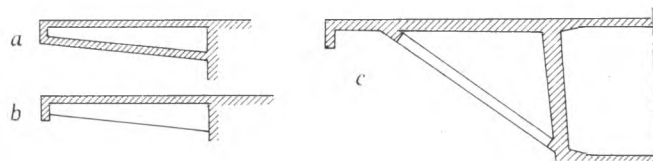
Konstruktivni elementi

Konzole, pješačke staze, vijenci. Konzole se za manje raspone izvode s konstantnom ili promjenljivom debljinom koja se može mijenjati linearno ili parabolički (sl. 35). Minimalna debljina na kraju konzole od armiranog betona iznosi 12 cm,



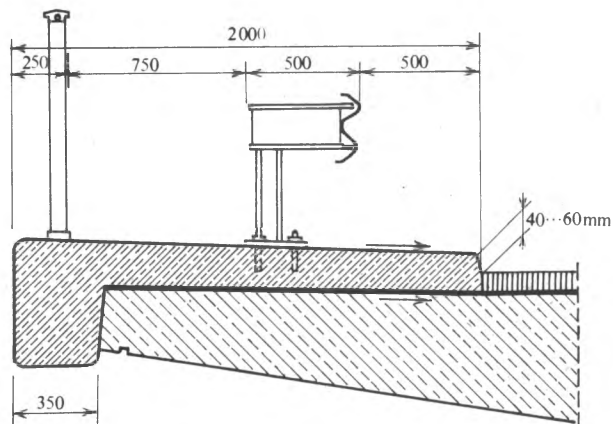
Sl. 35. Konzole manjeg raspona. a s linearnim, b s paraboličnim pojačanjem

a konzole od prednapregnutog betona 16 cm (radi usidrenja kabela). Za veće raspone mogu se izraditi sa šupljim presjekom (sl. 36a), s poprečnim nosačima (sl. 36b) i s kosnicima (sl. 36c). U statičkom pogledu konzola ima dvije funkcije: prva, prijenos opterećenja u poprečnom smjeru na glavne nosače, i druga, da služi kao dio gornjeg pojasa glavnog nosača. Za nosive ploče raspon konzole iznosi 1...1,5 m, a za rebraste i



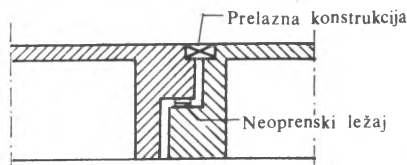
Sl. 36. Konzole većeg raspona. a šuplja konzola, b s poprečnim nosačima, c s kosnikom

sandučaste presjeke iznosi do 5 m. Na konzole se stavlja armirani beton pješačkih staza. Hodnik se na cestama s brzim prometom zaštićuje s unutrašnje strane elastičnim odbojnicima, a s vanjske čeličnom ogradom. Za ceste s malim prometom i u naseljima nisu potrebni odbojници. Na hodniku s većim prometom stavlja se lijevani asfalt debljine 2 cm. Hodnik je izgrađen s poprečnim padom od 1...2% prema sredini mosta. Često se ispod hodnika stavlja cijevi za smještaj energetskih i komunikacijskih kabela. Vijenac je ukras mosta i stoga mu se posvećuje posebna pažnja. Najljepši su vijenci iz montažnih elemenata. Međutim, oni se često izrađuju zajedno s betonom hodnika (sl. 37). Vijenac se postavlja na kraju gradnje kad je spuštena skela.



Sl. 37. Pješačka staza s vijencem

Zglobovi se po mogućnosti izbjegavaju, jer su to slaba mjesta u konstrukciji. Ne samo da je njihova izradba teška već je i održavanje skupo. Razlikuju se trajni (Gerberov nosač, sl. 38) i privremeni zglobovi, koji se naknadno zatvaraju. Proračunavaju se kao i kratke konzole, a ležaji se odabiru sa što manjim visinama. Na mjestu zglobova momenti u konstrukciji jednaki su nuli, pa djeluje samo poprečna sila.

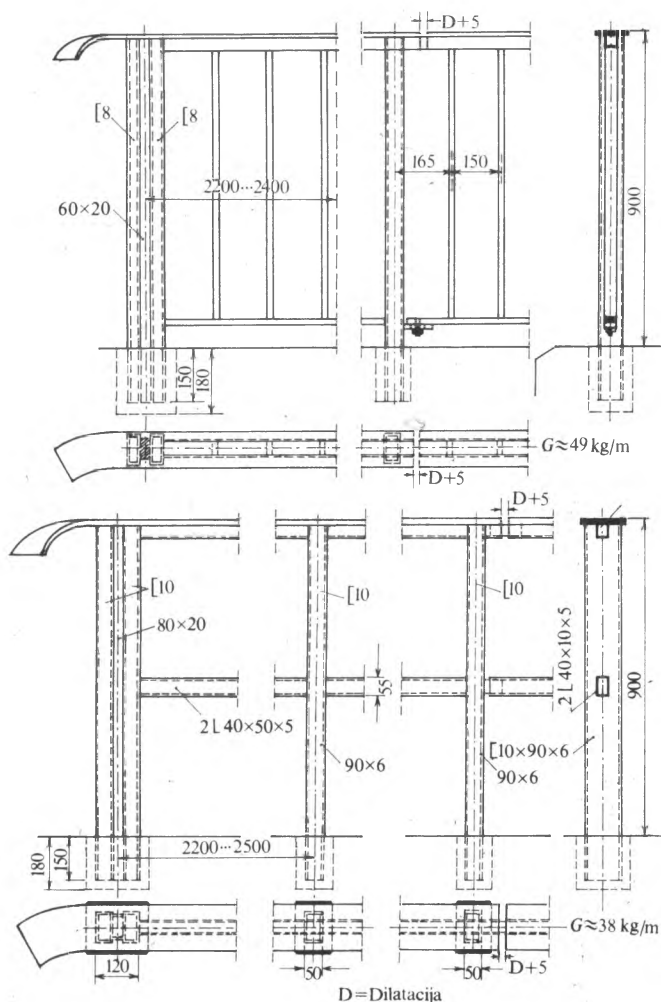


Sl. 38. Zglob na Gerberovu nosaču

Ograde na mostovima su većinom čelične. Dobra im je strana da su malih dimenzija i providne, a osim toga lako se montiraju. Ograda na mostu također je estetski element, pa se mora lijepo oblikovati i pažljivo ugraditi. Ima različitih tipova ograda (sl. 39). Na gradskim mostovima postavljaju se teže ograde, koje služe ne samo za sigurnost prolaznika već i za sigurnost vozila. Na otvorenim cestama ograde su lakše jer se tamo ugrađuju odbojници. Visina je ograde 0,9...1,1 m. Ispuna može biti vertikalna ili horizontalna. Ljepša je ispunjena s vertikalnim šprljicama. Razmak stupaca iznosi 1,2...2,5 m.

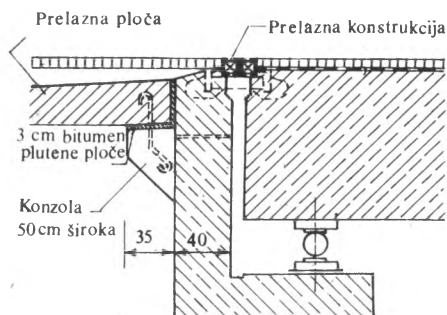
Odbojници služe za sigurnost vozila i sprečavaju ih da poprečno sidu s površine kolnika. Moraju biti tako konstruirani da ne odbace vozilo prilikom udara prema sredini kolnika i da postepeno preuzmu kinetičku energiju vozila. U nas se na cestama upotrebljava Neherov tip odbojnika. U Francuskoj se primjenjuje odbojnik koji se sastoji od betonskih elemenata povezanih uzdužnim prednapregnutim kabelom, a elementi su oslonjeni preko betonskih stupića na površinu hodnika. Ako vozilo udari u ogradu, ona se pomiče u poprečnom smjeru. Tom se pomicanju suprotstavlja trenje između stupića i poda sve dok se pomicanje ne zaustavi.

Prijelazna ploča. Nasip se iza upornjaka sliježe, te tamo nastaju uleknuća koja su opasna za promet. Ta se uleknuća



Sl. 39. Dva tipa čelične ograde

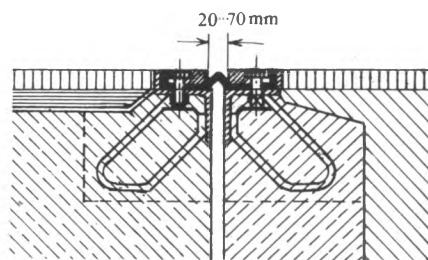
moгу spriječiti pomoću prijelaznih armiranobetonskih ploča (sl. 40) koje leže jednim krajem na upornjaku, a drugim na nasipu. Njihova duljina ovisi o očekivanom slijeganju i potrebama prometa. Nagib ploče ne bi smio biti veći od 1:200 na običnim cestama, a na auto-cestama najviše 1:350.



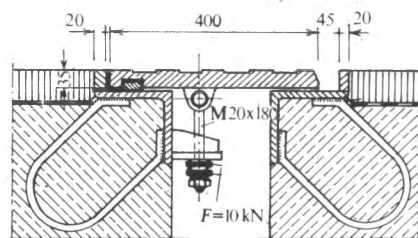
Sl. 40. Prijelazna ploča

Prijelazne konstrukcije. Zbog promjena temperature, stezanja i puzanja betona nosiva konstrukcija se rasteže i steže, te stvara veći ili manji otvor između svojih krajeva i upornjaka. Takvi se otvori premošćuju prijelaznim konstrukcijama. Njihov izbor ovisi o veličini rastezanja, odnosno stezanja. Prilikom prijelaza teških vozila prijelazne konstrukcije izložene su velikim dinamičkim udarima, a osim toga zbog trenja nastaju u njima velike sile. Zbog toga je važno da se dobro usidre i ugrade tako da nema ni najmanjih razinskih razlika. U praksi su se pokazale kao pogodne vodonepropusne prijelazne konstrukcije

(sl. 41). Osim njih, primjenjuju se i vodonepropusne čelične prijelazne konstrukcije (sl. 42). Ispod njih treba ugraditi žljebove za odvođenje vode koja prodire kroz njih. U SAD upotrebljavaju se prijelazne konstrukcije Transflex. Izrađene su od profilirane gume s vulkaniziranim čeličnim limovima. Debljina im je 55...130 mm. Mogu se upotrijebiti na mjestima gdje rastezanje nije veće od 300 mm.

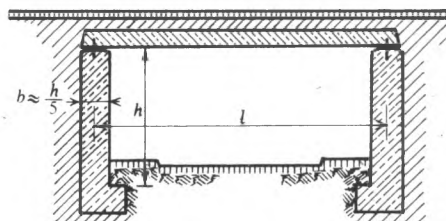


Sl. 41. Vodonepropusna prijelazna konstrukcija



Sl. 42. Čelična prijelazna konstrukcija

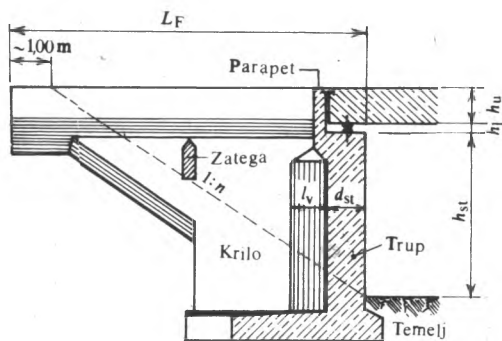
Ležaji služe za prijenos vertikalne i horizontalne sile na upornjake i stupove, te za osiguranje mjesta njihova djelovanja. Ležaji su nepokretni i pokretni. Nepokretni ležaji su nepomični, te preuzimaju na sebe, osim vertikalnih, sve horizontalne sile (kočna sila, sila otpora, sile trenja s pokretnih ležaja, vjetar, seizmičke sile). Budući da nosiva konstrukcija dilatira, potrebno je da su ostali ležaji pokretni. Oni prenose samo vertikalno opterećenje. Most preko jednog polja ima na nižoj strani nepokretni, a na višoj pokretni ležaj. Na malim mostovima raspona do 16 m mogu se na oba kraja izvesti nepokretni ležaji (sl. 43).



Sl. 43. Nepokretni ležaji za raspon 16 m

Razlikuju se linijski ležaji, koji preuzimaju sile na gornju i donju ploču na cijeloj duljini, i točkasti, koji preuzimaju djelovanje sile u točki. Točkasti se upotrebljavaju za široke mostove gdje je savijanje znatno i u poprečnom smjeru. Tada donja ili gornja ploča mora biti obrađena u obliku kuglinog odsječka. Linijski ležaji imaju jednu od ploča obrađenu u obliku odsječka valjka. Najjednostavniji nepomični ležaj jest Freyssinetov armiranobetonski ležaj (sl. 44). Primjenjuje se i za vrlo velike mostove s reakcijom većom od 10 MN. Prije su se često ugrađivali ležaji od lijevanog željeza (sl. 45), oni su, međutim, skupi i visoki. Mnogo su niži ležaji Corroweld (sl. 46), imaju na dodirnim ploham ugrađene slojeve od visokovrijednog čelika, zbog čega su dozvoljeni mnogo viši pritisci. Razvoj sintetskih materijala otpornih na starenje omogućio je izradbu novih vrsta ležaja, koji su skoro potpuno istisnuli čelične. Za klizne ležaje danas se više ne upotrebljava grafit već teflon. On ima vrlo nizak koeficijent trenja (0,03...0,05), koji opada

računaju kao nosači koji su dolje upeti, a gore zglobno oslo-
njeni. Tako se postiže velika ušteda betona i armature. Sas-
tavni dijelovi upornjaka jesu temelj, trup ili stup upornjaka,
ležišna klupa, kvaderi, parapetni zid, krila, te eventualne zatege
(sl. 53).

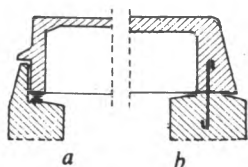


Sl. 53. Upornjak

Temelji mogu biti plitko ili duboko fundirani. Duboko
fundirani temelji rade se većinom na bušenim armiranobetonskim
pilotima, a i na zabijenim pilotima, zdcima i kesonima.

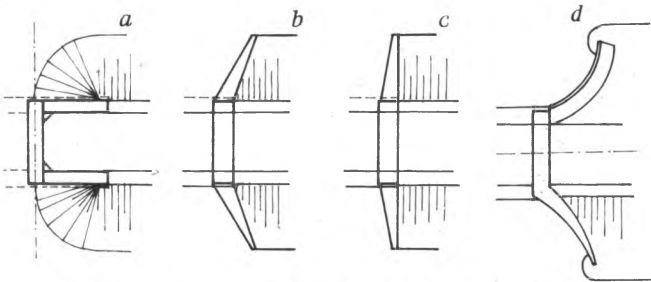
Trup upornjaka obično je armiranobetonska stijena. Umjesto
trupa postavljaju se, kad su upornjaci utopljeni u nasipu, dva
ili više stupova, što ovisi o širini mosta.

Za mostove manjih raspona nije potreban parapet (sl. 54).
Katkada se parapetni zid stavlja do ispod kolovozne ploče.

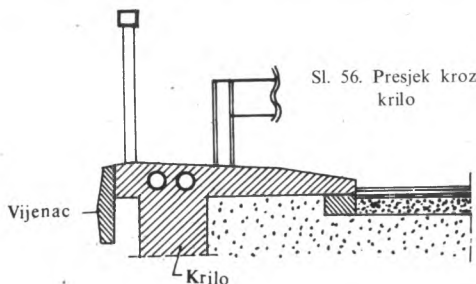

Sl. 54. Upornjak s niskim para-
petom (a) i bez njega (b).

Gornja površina ležišne klupe ima, radi odvodnje, lagani
pad prema parapetu, uz koga je rigol.

Iz estetskih razloga krila se rade većinom paralelna. Za
manje mostove, propuste ili u specijalnim okolnostima krila
mogu biti kosa, okomita ili lučna (sl. 55). Često se izrađuju
viseća krila, koja su vrlo ekonomična zbog malih potrebnih
količina materijala. Kad su paralelna krila dugačka, dobro ih
je spojnicom odvojiti od trupa upornjaka. Da se smanje dimen-
zije krila, primjenjuju se za uske mostove horizontalne zatege.

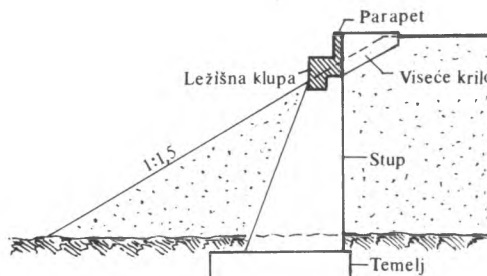


Sl. 55. Vrste krila. a paralelna, b kosa, c okomita, d lučna krila

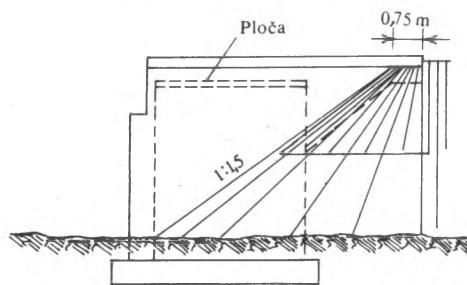

Sl. 56. Presjek kroz
krilo

Budući da pješačke staze, ograde, odbojnici i zaštitne trake,
eventualno različiti vodovi, prelaze preko krila, presjeci se krila
moraju adekvatno oblikovati (sl. 56).

Krajnji stupovi okvirnih mostova ujedno su i upornjaci.
Za neke mostove, te nadvožnjake iznad auto-cesta i cesta,
gdje je veoma važna vidljivost, postavljaju se upornjaci koji se
skoro čitavom visinom nalaze u nasipu (sl. 57). Takvo rješenje
ne samo da osigurava veću vidljivost već i prozračnost, a
građevina postaje vitkija i laganija. Upornjak se tada sastoji
od temelja, koji može biti samac ili ploča, dvaju ili više stupova,
ležišne grede, kvadera, parapeta i visećih krila. Prednost je
takvih upornjaka u tome što trebaju malo betona, te su stoga
lagani i jeftini. Mana im je da se nosiva konstrukcija toliko
produljuje koliko je upornjak uvučen u nasip. Osim toga,

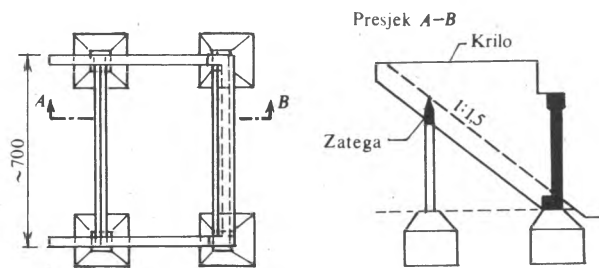


Sl. 57. Utopljeni upornjak

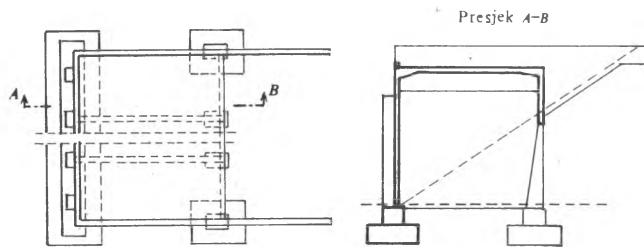


Sl. 58. Izvučeni upornjak

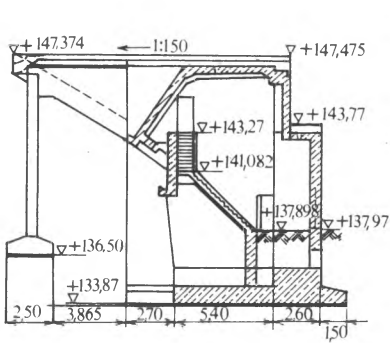
izrađuju se upornjaci kojima je zajedničko to što su izvučeni
iz nasipa, tako da se prednja ploha upornjaka nalazi nešto
ispred sastava stošca i terena (sl. 58). Razlikuje se otvoreni tip
i zatvoreni tip upornjaka. Prvi je odozgo otvoren, dok je drugi
zatvoren kolovoznom pločom, koja ujedno povezuje međusobno
oba krila i parapet. Nekad su otvoreni upornjaci bili masivni,
bez armatura, s vrlo mnogo betona i velike težine. Danas se



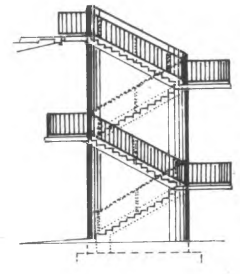
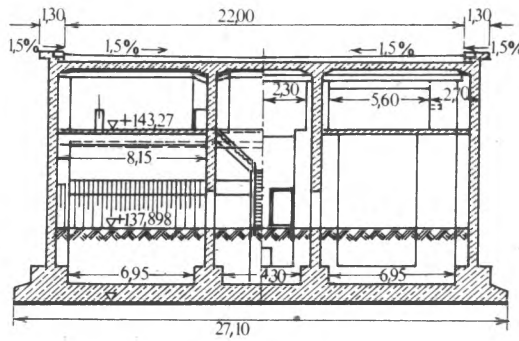
Sl. 59. Otvoreni upornjak



Sl. 60. Zatvoreni upornjak



Sl. 61. Tornisterov upornjak



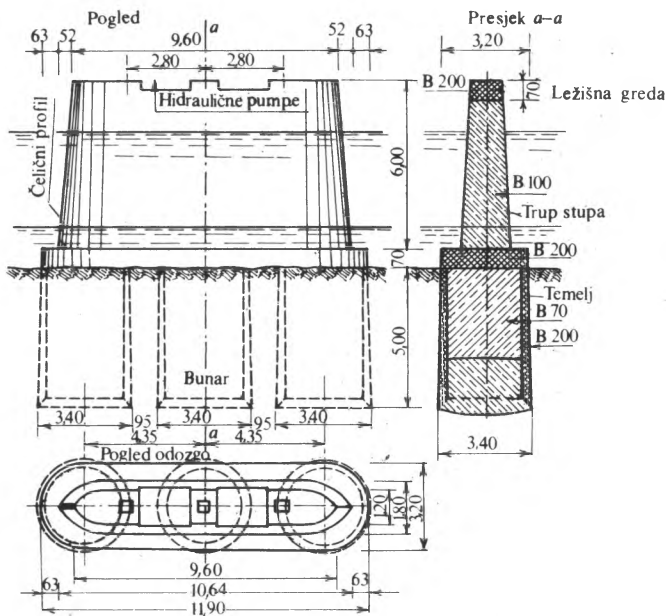
Sl. 62. Stepence na upornjaku

grade raščlanjeni upornjaci s tankim dimenzijama elemenata od armiranog betona (sl. 59). Kad su dulja krila, primjenjuju se poprečne zatege radi smanjenja momenata u krilima od zemljinog potiska. Zatvoreni upornjaci (sl. 60) imaju prednost nad otvorenima, jer na njih djeluje mnogo manji pritisak tla u osi mosta i na krilima. Upornjaci Tornister (sl. 61) pripadaju kategoriji zatvorenih upornjaka. Da se smanji duljina krila, prave se zidovi koji podupiru čunjeve upornjaka.

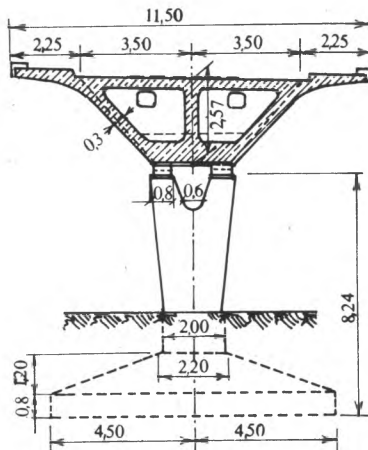
Za komunikaciju između mostova na cestama s brzim prometom i ostalim prometnicama koje oni prelaze, služe posebne stepence (sl. 62).

Stupovi služe da prenesu vertikalno i horizontalno opterećenje s konstrukcije na tlo. Izrađuju se od betona ili najčešće, od armiranog betona. Sastavni su dijelovi stupišta temelj, stup, ležišna greda i kvader (sl. 63).

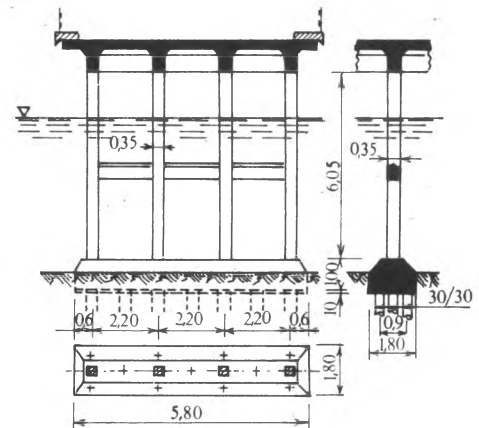
Oblik temelja zavisi o dubini temeljenja i nosivosti tla, o vrsti temeljenja (piloti, bunari, kesoni), te eventualno o dubini vode. Stupište se može sastojati od jednog (sl. 64) ili dva zida, odnosno jednog ili više stupova (sl. 65). Na plovnim rijekama,



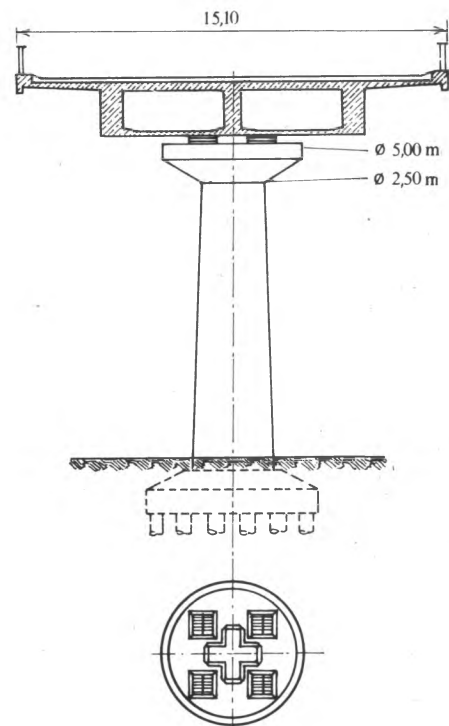
Sl. 63. Stup temeljen na bunarima



Sl. 64. Jednodijelni stup

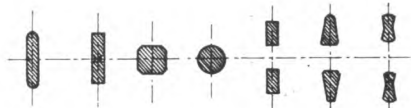


Sl. 65. Stupište sa četiri stupa



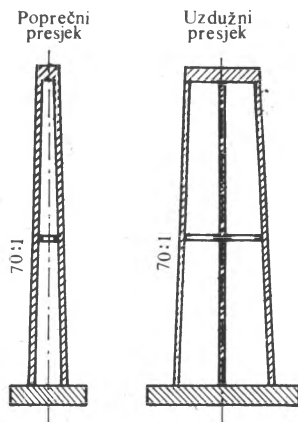
Sl. 66. Jaki jednodijelni stup

gdje je moguć udar brodova u stup ili na rijekama na kojima plovi led, grade se jaki jednodijelni stupovi (sl. 66). Plohe stupova mogu biti vertikalne, ili blago nagnute u jednom ili u oba smjera. Gdje voda nosi šljunak ili pijesak, valja plohe obložiti otpornim kamenom. Stupovi u rijekama, osobito brzim rijekama, treba da imaju hidrodinamički presjek da se oko njih ne bi stvarali vrtlozi i da stvaraju što manji uspor. Zbog toga imaju presjeke uzvodno i nizvodno zaobljene ili šiljaste (sl. 67).



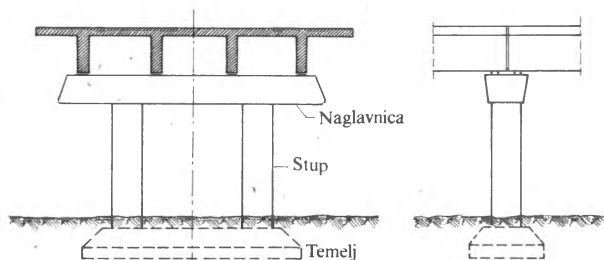
Sl. 67. Presjeci stupova i stupišta

U poplavnim područjima i kad su visine malene ne preporučuje se graditi jednodijelne široke stupove, jer djeluju teško i zaklanjaju vidik. Bolje djeluju stupišta s uskim jednodijelnim stupom ili s dvije uske stijene. Visoki stupovi vijadukata zbog statičkih razloga većinom su jednodijelni i šuplji s jednom ili više komora (sl. 68). Debljina stijenki iznosi 20...30 cm. Vertikalna armatura osigurava se protiv izvijanja s kukama u obliku slova S. Vanjske plohe izrađuju se u nagibu ~1:70. Radi jednostavnosti često su i vertikalne. Stupovi se ukružuju poprečnim okvirima, koji ujedno služe kao podesti. Kad se grade stupišta sa stupovima, nastoji se što više ograničiti broj stupova u poprečnom presjeku. Zbog toga se odabire dva ili najviše tri stupa u jednom stupištu. Kad se grade torzijsko krute nosive konstrukcije, može se odabrati jedan stup, koji svojom krutošću na savijanje preuzima dio torzijskih momenata. Stupovi mogu imati raznovrsne presjeke, koji su konstantni ili se mijenjaju prema visini stupa.



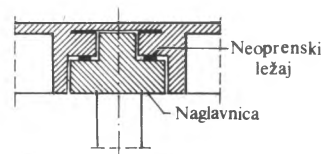
Sl. 68. Visoki stupovi

S montažnom gradnjom razvili su se novi oblici stupova. Njihova je bit u primjeni naglavnice, koja je kruto vezana s jednim ili više stupova. Naglavnica, koja može biti i montažna,

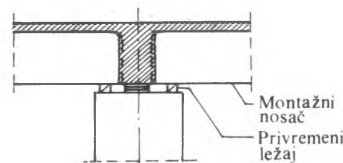


Sl. 69. Naglavnica ispod nosača

postavlja se često ispod uzdužnih nosača (sl. 69). Ljepše je rješenje, međutim, kad je naglavnica upuštena u konstrukciju (sl. 70). Kad se upotrebljavaju privremeni ležaji za nosače dvaju

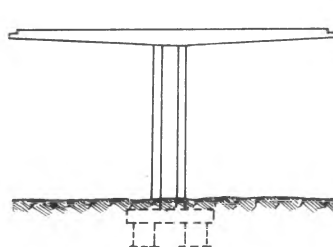


Sl. 70. Naglavnica upuštena u nosač

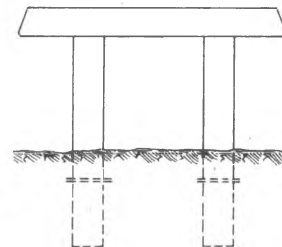


Sl. 71. Uspostavljanje kontinuiteta između susjednih montažnih konstrukcija

polja, može poprečni nosač služiti i kao naglavnica. Takvo se rješenje primjenjuje kad se izostatični pretvaraju u kontinuirane sustave (sl. 71). U monolitnim konstrukcijama često poprečni nosač iznad stupa ima i ulogu naglavnice. U Italiji se dosta primjenjuju konzolni stolovi (sl. 72). Naglavnica, koja je kruto povezana sa stupom, proširuje se na obje strane tako da rasponi montažnih konstrukcija postaju kraći i nosači lakši, što olakšava njihovu montažu. Dobra je strana toga rješenja jednostavnost gradnje, a mana spojnice u kolniku, te veći utrošak betona i armature.



Sl. 72. Konzolni stol



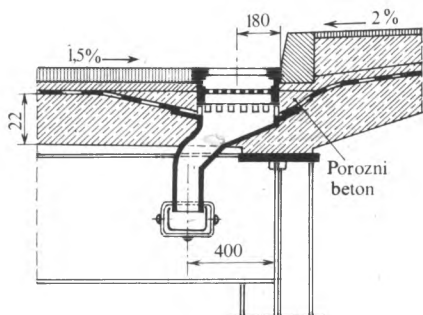
Sl. 73. Produljenje pilota u stup

U okvirnim mostovima nosiva konstrukcija i stupovi monolitno su povezani. Stupovi su katkada okvirne konstrukcije u poprečnom smislu. Kad su mostovi temeljeni na pilotima, oni se ponekad produljuju do naglavnice, te tako postaju stupovi (sl. 73). Naglavnice i kvaderi armiraju se posebnom armaturom.

Temeljenje. Za izbor ekonomičnog temeljenja bitni su sljedeći uvjeti: dubina nosivog tla i njegova svojstva (dopušteno naprezanje, koeficijent trenja, slijeganje itd.), svojstva slojeva ispod nosivog tla i njihova stišljivost, i raspoloživo vrijeme za temeljenje. Pri temeljenju mostova primjenjuje se plitko temeljenje, temeljenje na pilotima, bunarima i kesonima. Najjeftinije i najjednostavnije je plitko fundiranje, ako nosivo tlo leži plitko i ima nosivost od najmanje 10 N/cm². Inače, danas se za duboko temeljenje upotrebljavaju većinom piloti, osobito bušeni piloti, s promjerom 50...250 cm. Temeljenje na bunarima i kesonima primjenjuje se u izuzetnim okolnostima i za velike mostove.

Odvodnja. Pravilo je da se voda odvede s građevine najkraćim putem. Voda je neprijatelj građevina, osobito kad se zimi pomiješa sa solju kojom se posipavaju ceste. Za dobru odvodnju poprečni pad na mostu mora iznositi najmanje 2%. Voda se skuplja pomoću poprečnih i uzdužnih nagiba u slivnike, a odatle neposredno na tlo ili žljebovima do kanalizacije, vodotoka i sl. Slivnik površine 300...400 mm² može odvesti vodu sa 400 m² površine mosta. Kad je poprečni nagib 2%, međusobni razmak slivnika ovisi o uzdužnom nagibu: za uzdužni pad 0,2...0,5% razmak treba da iznosi 5...10 m, za uzdužni pad 0,5...1% razmak iznosi 10...25 m, i za pad veći od 1% razmak je 20...25 m. Slivnici moraju biti osposobljeni da

prime, osim oborina s kolnika, i vodu koja je prodrla do izolacije. Razlikuju se slivnici na kolniku uz rubnjak i oni ugrađeni u rubnjake (sl. 74). Voda iz žljebova odvodi se vertikalnim cijevima uz stup ili upornjak. Procjedna voda koja se skuplja na gornjoj površini izolacije odvodi se posebnim slivnicima promjera 50 mm. Na približno 70 m² površine postavlja se jedan takav slivnik. Voda s upornjaka odvodi se na njegovoj stražnjoj plohi, gdje su predviđeni posebni betonski rigoli. Odatle se voda posebnom cijevi promjera 150 mm propušta u kanalizaciju, na okolni teren ili na kolnik ceste.



Sl. 74. Slivnik ugrađen u rubnjak

Izolacija. Budući da ni lijevani asfalt nije nepropustan, nosive konstrukcije moraju se zaštititi od agresivnih voda. Kao materijal koji se stavlja između aluminijskih i bakrenih folija, te folija od sintetskih materijala najbolje se pokazao mastiks. Nanosi se u debljini od 10–15 mm na parnu branu od staklenog voala (staklenog pletiva). Zapaženo je, međutim, da stakleni voal djeluje kao drenaža i raznosi štetne materijale. Zato neki stručnjaci preporučuju da se umjesto voala postavi sloj epoksidne smole. Da se smanji tlak pare ispod izolacije, ugrađuju se plastične cjevčice promjera 20 mm, i to jedna cjevčica na 7 m² površine kolnika. Plohe upornjaka i stupova, koje su u dodiru s tlom također se zaštićuju izolacijom, koja se sastoji od jednog hladnog i dva vruća premaza. Izolacija se zaštićuje slojem cigle i procjednim slojem od šljunka i grubog pijeska.

Gradnja grednih mostova

Predviđeni način gradnje mnogo utječe na dispoziciju, po-prčni presjek, te na iznos troškova građenja mostova. Do polovice ovog stoljeća masivni mostovi gradili su se skoro jedino na drvenim skelama, a betoniralo se na gradilištu. Zbog pomanjkanja drveta i radne snage, te skupih i često vrlo kompliciranih skela, mostograditelji su morali pronalaziti druga rješenja da bi zamijenili konvencionalne skele. Za gradnju manjih mostova na suhom, s uspjehom se upotrebljavaju skele od čeličnih cijevi. Kombinacije jarmova od čeličnih cijevi, te čeličnih valjanih ili rešetkastih nosača pokazale su se također kao vrlo ekonomična rješenja. Međutim, ponekad upotreba takvih skela može biti neprikladna, kao npr. pri prijelazu dubokih jaruga, vodenih tokova, osobito ako se radi o plovnom putu. Takve skele mogu imati negativan ekološki utjecaj na okoliš i mogu sprečavati kretanje životinja. S razvitkom upotrebe prednapregnutog betona, razvijale su se i metode građenja koje su imale zajednički cilj što više pojednostavniti, pojeftiniti i ubrzati gradnju. Novi postupci brzo su se razvijali, pa taj razvoj još i danas traje. Čini se da za sada nema i da uskoro neće biti novih i revolucionarnih ideja u gradnji mostova, te da se napredak masivnih mostova očituje u napretku tehnologije građenja. Za srednje i velike raspone razvilo se građenje nosivih konstrukcija sa segmentima. Takvo građenje uklanja sve spomenute mane betoniranja na čvrstim skelama.

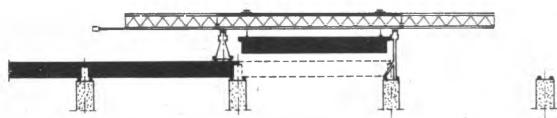
Metode izradbe mogu se svrstati u dvije grupe. U nekim zemljama više se gradi s gotovim segmentima, u drugima sa segmentima betoniranim na gradilištu, no u većini zemalja primjenjuju se obje metode, što ovisi o lokalnim prilikama. Prednost izradbe s gotovim segmentima očituje se u njihovoj

kvaliteti i brzini izradbe. Mana je da se zahtijeva puno prednaprezanje i velika preciznost izradbe, da meka armatura ne prolazi preko spojnica, da se sučeone plohe moraju premaživati epoksidnim smolama, te da je teža doprema jer se radi o teškim elementima. Kad se segmenti betoniraju na gradilištu, nema spomenutih nedostataka, ali mane su takva postupka slabija kvaliteta betona, jer se betonira na gradilištu, i manja brzina izradbe.

Postupci s montažnim (gotovim) elementima. Mostovi malih raspona katkada se grade montažno s gotovim elementima. Takvi elementi mogu biti nosač, dio kolovozne ploče ili čitava konstrukcija jednog polja. Preko jezera Portchartrain (SAD) izgrađen je takav most dug 38 km, koji ima raspone konstrukcije od 17 m. To su izostatične konstrukcije s poprečnim spojnica iznad stupova, koje su montirane pomoću plovne dizalice. U eri obnove poslije drugoga svjetskog rata Francuzi su gradili montažne i polumontažne mostove. Gotovi nosači i ostali elementi na niskim mostovima montiraju se pomoću autodizalice (sl. 75), a na visokim mostovima pomoću čeličnih lansirnih rešetki (sl. 76). Takva izradba mostova racionalna je do raspona od oko 40 m.



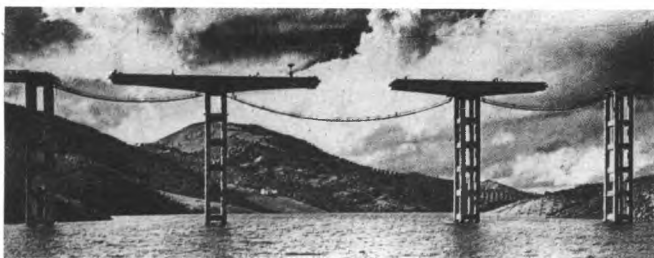
Sl. 75. Montaža nosača



Sl. 76. Montaža nosača pomoću lansirne rešetke

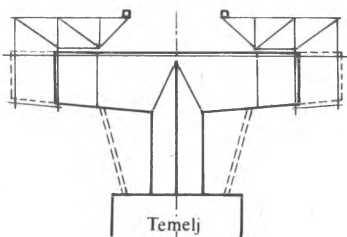
Za veće raspone elementi postaju preteški, te je tada pogodnije ugrađivanje segmenata. Segmenti se izrađuju obično u punom presjeku, male duljine. Betoniraju se na gradilištu ili u tvornici, tako da je čelo prethodnog elementa oplata sljedećeg elementa. Segmenti se ugrađuju istim redom kojim su betonirani. Spomenuti ciklus se ponavlja do završetka izradbe svih segmenata. Veličina i težina elemenata ovisi o jačini dizalica, o troškovima za optate, o gabaritu i o dozvoljenom opterećenju ceste. Težina je elemenata u stalnom porastu. Tako je npr. segment duljine 25 m za most preko Seine u Choisy le Roi kod Pariza, građen 1962. godine, težio 28 t, dok je segment mosta Saint Cloud, sagrađen 1972. godine, duljine 2,25 m težio 146 t. Prije montaže namažu se čelone plohe segmenata epoksidnim premazom. Segmenti se prednaprežu nakon njihove montaže u definitivni položaj. Metode izradbe segmenata opisać će se u sljedećim dijelovima članka, jer principijelno nema razlike da li se radi o gotovim segmentima ili segmentima betoniranim na gradilištu.

Balansni postupak vrlo je pogodan za građenje mostova s malo polja i velikim srednjim rasponima (sl. 77). Sastoji se u



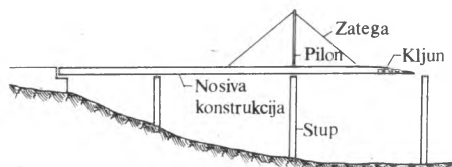
Sl. 77. Primjer balasnog postupka

konzolnoj izradbi nosive konstrukcije pomoću segmenata na principu vage. Počinje se obično od prvog stupa konzolno na obje strane, držeći ravnotežu, dok konstrukcija ne stigne s jedne strane do sredine raspona, a s druge strane do upornjaka. Taj se postupak ponavlja do završetka mosta. Prilikom izradbe segmenata može se dogoditi da je jedna konzola jače opterećena od druge. Razliku momenata s obje strane mora tada preuzeti stup, na koji se usidri gornja konstrukcija privremenim sidrima, ako nije kruto spojena sa stupovima. Druga je mogućnost da se stabilnost postigne privremenim poduporama s jedne ili s obje strane (sl. 78). Tok gradnje je sljedeći: poslije izradbe



Sl. 78. Balasni postupak s poduporama

stupa i dijela nosive konstrukcije, montiraju se na oba kraja posebne košare s oplatom. Tada se betoniraju segmenti na obje strane stupa, te nakon njihova očvršćenja i prednapreznja razmiču se košare na duljinu jednog segmenta, pa se postupak ponavlja. U nekim zemljama ne dozvoljavaju se konzole zbog opasnosti od povećanja progiba, već se sustav konzola dodatnim kabelima pretvara u kontinuirani nosač. Kad su nosači jednake visine, može moment konzole preuzeti privremeni pylon i kosi kabel (sl. 79). Prednost je balasnog postupka s betoniranjem segmenata na gradilištu da se dozvoljava ograničeno

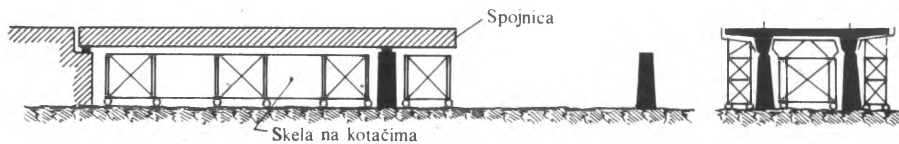


Sl. 79. Smanjenje momenta konzole pomoću zatege

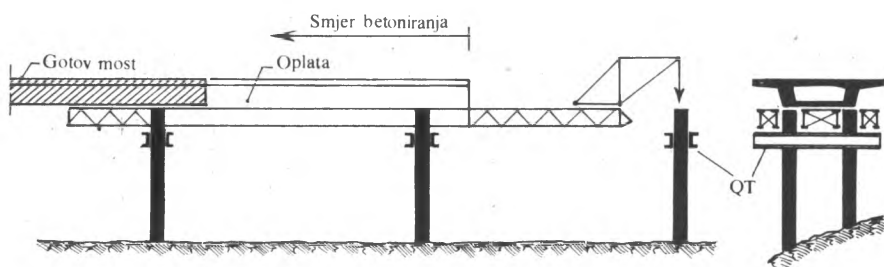
prednapreznje te da uzdužna meka armatura prelazi spojnice, koje tako mogu besprijekorno prenositi posmična i torzijska napreznja.

Balasni postupak s lansirnom konstrukcijom. U primjeru balasnog postupka pojavljuju se poteškoće zbog vertikalnog transporta materijala i ljudi kod svakog stupa. Te se manjkavosti uklanjaju upotrebom lansirne konstrukcije (sl. 80). Tada su košare obješene na lansirni nosač zajedno sa svježim betoniranim segmentom. Nakon njegova očvršćenja i prednapreznja obje košare putuju za jedan segment dalje. Postupak se ponavlja sve dok se nosiva konstrukcija ne spoji s jedne strane s već gotovom konstrukcijom, a s druge strane dok ne dođe do sredine otvora. Tako je također omogućeno da se duljina segmenta poveća. Lansirna konstrukcija služi i za horizontalni transport. Spomenuti postupak pokazao se vrlo prikladan za mostove s mnogo otvora, koji su veći od 50 m.

Izvedba po poljima. Ako je niveleta relativno niska i teren ravan, prikladne su pomične skele (sl. 81). Takav je postupak ekonomičan kad most ima više od tri polja. Betonira se čitavo polje i dio sljedećeg polja do mjesta gdje je moment nula. Pošto je izvršeno prednapreznje, skela se spušta i odvozi u drugo polje, gdje se postupak ponavlja. Kad su stupovi viši,



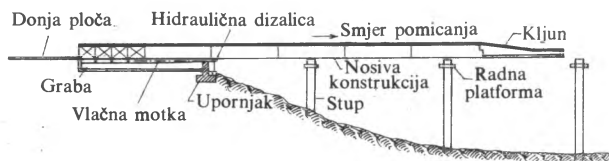
Sl. 81. Skela na kotačima



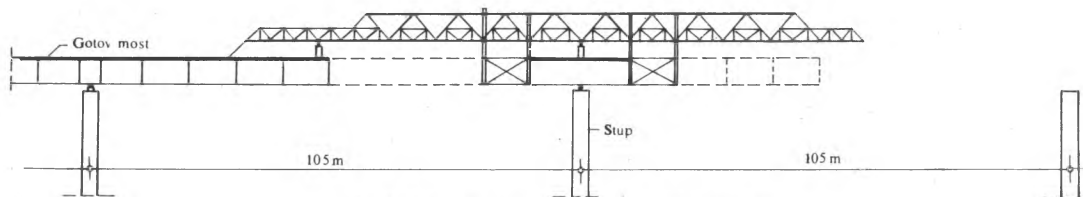
Sl. 82. Izvedba s lansirnom rešetkom ispod mosta

povoljnija je izvedba po poljima s lansirnom konstrukcijom (sl. 82). Lansirna rešetka nalazi se ispod buduće nosive konstrukcije, a oslonjena je na poprečne nosače pričvršćene na stupove. Preko tih nosača gura se lansirna konstrukcija u sljedeće polje. Opisani postupci povoljni su za raspone do 50 m.

Potiskivanje (sl. 83). Na nasipu iza upornjaka betonira se dio nosive konstrukcije duljine 10...30 m. Poslije otvrdnuća i centričnog prednapreznja konstrukcija se preko teflonskih ležaja potiskuje naprijed pomoću hidrauličnih pumpi. Na čelu je



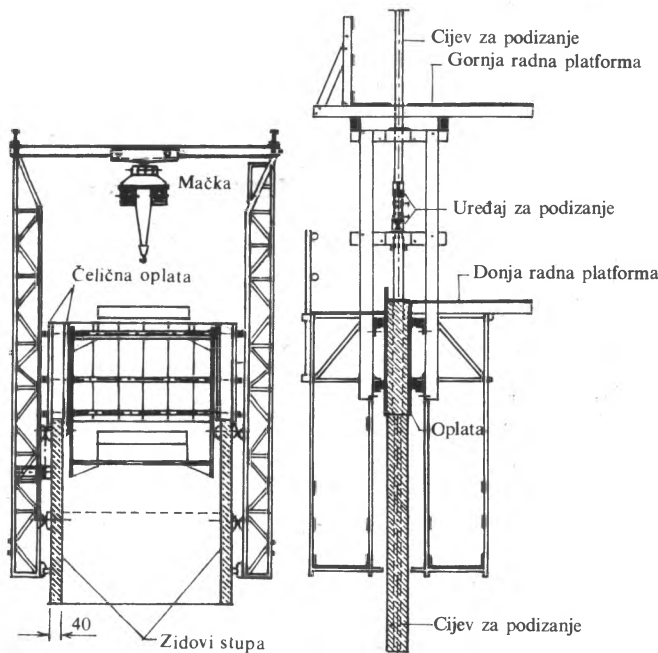
Sl. 83. Postupak potiskivanja



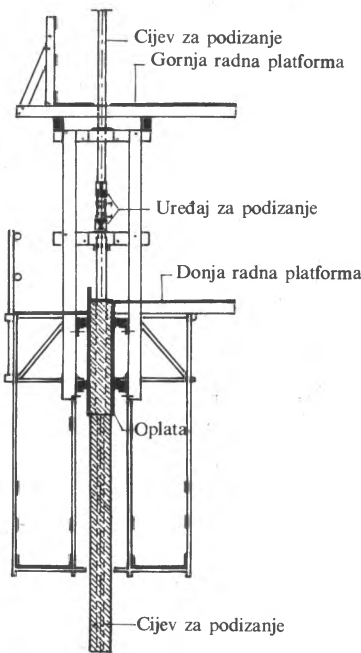
Sl. 80. Balasni postupak pomoću lansirne rešetke

pričvršćen čelični kljun da bi se smanjili momenti konzole. Sljedeći dio betonira se neposredno na stražnje čelo prethodnog elementa, te se postupak ponavlja dok nije konstrukcija završena i dok se ne nađe u svom konačnom položaju. Tada se prednaprežu preostali potrebni kabeli. Postupak je ekonomičan za mostove duljine veće od 150 m, s najmanje 3 raspona. Polja mogu biti duga 30-120 m, ali ne smiju biti suviše različitih duljina. Na velikim konzolama momenti se mogu smanjiti pomoću pilona s kosim kabelima. Postupak se može primijeniti i na mostove konstantne zakrivljenosti.

Visoki stupovi mogu se betonirati na dva načina, i to pomoću klizne i pomoću penjačke oplate. Obje se metode osnivaju na primjeni mehaniziranih oplatnih sustava (v. *Građevne oplate*, TE 6, str. 212). Njihova je prednost u smanjenju troškova i znatnom skraćenju vremena građenja s obzirom na konvencionalnu izvedbu. Pri upotrebi penjačke oplate betonira se u odsjecima, a oplatni su elementi jednake visine. Poslije dovršetka donjeg odsjeka, premještaju se oplatni elementi za betoniranje sljedećeg odsjeka (sl. 84). Primjenom toga postupka nastaju horizontalne spojnice. Postupak s kliznom oplatom



Sl. 84. Penjačka oplate



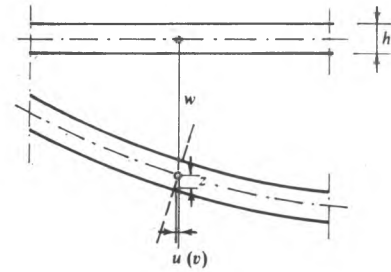
Sl. 85. Klizna oplate

(sl. 85) teče kontinuirano, bez prekida, a ne pojavljuju se spojnice. Mana je toga postupka da se betoniranje ne smije prekidati ni za vrijeme praznika. Brzina hoda ovisi o vezanju betona, te iznosi do 30 cm na sat. Spomenuti postupci su ekonomični za betoniranje stupova veće visine od 10 m, jer je mnogo vremena potrebno za montiranje i demontiranje uređaja.

Metode proračuna

Ploče. Osnovni je zadatak proračuna da se odredi djelovanje koncentriranog tereta na ploču, koja može biti izotropna ili anizotropna, prosta ili kontinuirana greda, te konstantnog ili promjenljivog presjeka. Za više koncentriranih tereta vrijedi zakon superpozicije. Osnova teorije ploča počiva na pretpostavkama da je njena debljina, s obzirom na raspon, malena, da je materijal izotropan i elastičan, da je omjer progiba i njene debljine malen. Te pretpostavke nisu sasvim ispunjene za armiranobetonske ploče. Ipak, spomenute pretpostavke daju prihvatljivo rješenje. Pomoću metode konačnih elemenata, te upotrebom elektroničkih računala moguće je odrediti sile u bilo kojem presjeku ploče nepravilnih oblika, debljina i oslanjanja, te s rupama i oslabljenjima.

Veza između opterećenja P i vertikalnog pomaka w elastične izotropne ploče (sl. 86), koja ima jednaku krutost u oba smjera (x, y), može se odrediti pomoću diferencijalne jednačbe



Sl. 86. Vertikalni pomak ploče

$$\frac{P}{N} = \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}, \quad (1)$$

gdje je

$$N = \frac{EJ}{1 - \mu^2}, \quad (2)$$

E modul elastičnosti, J moment tromosti, a μ Poissonov koeficijent. Momenti iznose

$$\begin{aligned} M_x &= -N \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right), \\ M_y &= -N \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right), \\ M_{xy} &= -(1 - \mu)N \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \end{aligned} \quad (3)$$

pa se za kut φ definiran relacijom

$$\tan 2\varphi = \frac{2M_{xy}}{M_x - M_y} \quad (4)$$

dobivaju glavni momenti

$$M_n = \frac{1}{2} (M_x + M_y) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4M_{xy}^2}, \quad (5)$$

$$M_n \varphi = \pm \sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4M_{xy}^2}. \quad (6)$$

Općenito rješenje dobiva se iz rubnih uvjeta. Prilikom proračuna plohe savijanja metodom rubnih uvjeta treba naći opći integral $w = w_0 + w$ jednostavne funkcije, kako bi se integral w homogene jednačbe mogao brzo izračunati. Rješenje je postignuto kad je pronađen partikularni integral w_0 koji zadovoljava diferencijalnu jednačbu (1). Tada se w razvija iz nekog reda, a w_0 se određuje promatranjem ploče.

Za proračun kolovoznih ploča mogu se upotrijebiti tablice C. Massoneta, M. Pigeauda, H. Rüsch, E. Bittnera i H. F. Olsena. Momenti na pločama mostova na auto-cestama najjednostavnije se proračunavaju pomoću Rüschovih tablica, koje su izrađene na osnovi DIN 1072.

Proračun je kontinuiranih kolovoznih ploča, u oba smjera (x, y), kompliciran, jer je teško uzeti u obzir sve utjecaje. Osim toga, radi se o višestrukoj statičkoj neodređenosti, te ako bi se pojavila neka preopterećenja, naprezanja bi se preložila na susjedne dijelove. Zbog toga se dopušta približni proračun kontinuiteta s popravnim koeficijentima.

Konzolne ploče mogu se proračunati prema H. Rüschu ili H. Hombergu za konstantnu i promjenljivu debljinu ploče. Rüschove tablice ne mogu se upotrijebiti ako omjer polja nije veći od 1:0,8.

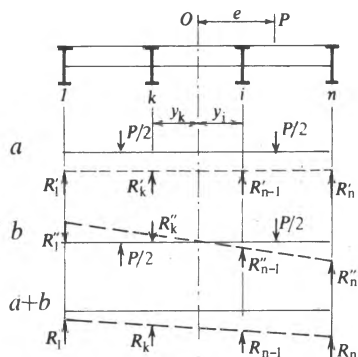
Za proračun kontinuiranih ploča, koje su ujedno glavni nosivi sustav, H. Rüsch je razvio postupak pomoću kojega se mogu približno izračunati rezne sile. Proračuna se jednostavno ili obostrano upeti nosač pomoću utjecajnih linija za čitavu širinu ploče i jednostrano, odnosno obostrano upeta ploča širine 1 m. Omjer momenata nosača prema ploči daje mjerodavnu širinu. Konačni momenti određuju se iz momenata kontinuiranog nosača pomnoženih sa $1/b$, gdje je b širina ploče. Promjenljivost momenta tromosti uzima se u obzir pri određivanju utjecajnih linija kontinuiranog nosača. G. Hoeland je izradio tablice

utjecajnih polja momenata iznad ležaja kontinuiranih ploča. Proste i kontinuirane ploče mogu se također proračunati i na temelju teorije roštilja. Radi jednostavnosti računa dozvoljeno je šuplje ploče računati kao pune, ako je predviđen dovoljan broj poprečnih nosača. Točan proračun takvih ploča zahtijeva velik računski posao.

Roštilji. Roštilji su konstrukcije u kojima je više uzdužnih nosača povezano s nekoliko poprečnih nosača (v. *Ploče i roštilji*). Mogu biti prosto položeni ili kontinuirani. Postoji mnogo metoda za njihov proračun. Y. Guyon je prvi razvio analizu roštilja na temelju teorije ploča. Pri tom je zanemario torzijsku krutost elemenata i zatim izradio sličnu analizu za izotropne ploče. C. Massonet je generalizirao Guyonovu analizu roštilja i ploča uključivši utjecaj torzije. Roštilj se može shvatiti kao ploča ojačana uzdužnim ili uzdužnim i poprečnim rebrima, ako su predviđeni poprečni nosači. Točan proračun takve ploče izvanredno je težak, te se stoga pojednostavnjuje problem tako da se pretpostavlja da je ploča sastavljena od ortogonalno izvedenih nosača ili da je izvedena kao anizotropna ploča, koja ima različite krutosti u dva smjera. Prema prvoj pretpostavci uzima se u obzir sudjelovanje kolovozne ploče u savijanju, ali se mora zanemariti prijenos momenata torzije preko takve ploče, što može biti važno. Prema drugoj pretpostavci može se točno proračunati utjecaj torzije, ali se čini pogreška kad se računa da je krutost uzdužnih i poprečnih nosača jednoliko raspodijeljena.

Metoda proračuna prema prvoj pretpostavci. U čvoru, gdje su međusobno kruto vezani uzdužni i poprečni nosač, nastaje kod deformacije roštilja istodobno savijanje i torzija nosača. Budući da je utjecaj torzije mnogo manji, često se zanemaruje, pa se računa da u tim čvorovima postoji zglobov. Time se veoma pojednostavnjuje proračun. U tu kategoriju proračuna spada metoda sila, deformacijska metoda C. Ostenfelda i metoda vlastitih rješenja. Prilikom primjene posljednje od spomenutih metoda pretpostavlja se da je u svakom čvoru nepomični ležaj, te se pomoću utjecajnih linija određuju momenti i reakcije u ležajima. Zatim se ležaji oslobode i pusti da djeluju na roštilj reakcije s obrnutim predznakom. Osim spomenutih metoda postoji i metoda relaksacije, analognu postupku H. Crossa. Tada se pretpostavlja da su čvorovi najprije kruti, a zatim ih se oslobađa. E. Melan i R. Schindler su objavili egzaktni proračun torzijsko mekih roštilja (1942). H. Beer i F. Resinger su za rješenje roštilja s torzijsko krutim glavnim i poprečnim nosačima razvili deformacijsku metodu, kojom se iterativno određuju kutovi zbog savijanja i torzije. Kasnije su proširili taj postupak i na kose roštilje. Prilog proračunu kosih roštilja dao je J. Starke.

Osim spomenutih točnijih, postoje i približne metode: Engesserova i M. Courbonova metoda. U tim metodama pretpostavlja se da su poprečni nosači beskonačno kruti. Sila P koja djeluje ekscentrično rastavlja se u dva sustava sila, i to simetrični i antisimetrični sa silama $P/2$ (sl. 87). U simetričnom



Sl. 87. Simetrični (a) i antisimetrični (b) sustav sila

sustavu nastaje paralelan pomak i sila R_k' koju preuzima nosač k proporcionalna je njegovoj krutosti:

$$R_k' = \frac{P J_k}{\sum_n J_k}, \quad (7)$$

gdje je J_k moment tromosti nosača. U antisimetričnom sustavu nastaje rotacija svih poprečnih nosača. Prema tome, pomaci su proporcionalni udaljenosti e od osi, a sila i moment koje preuzimaju nosači iznosi

$$R_k'' = \beta y_k J_k, \quad (8)$$

$$M = P e = \beta \sum_n y_k^2 J_k. \quad (9)$$

gdje je y_k udaljenost od k -tog poprečnog nosača (sl. 87). Ako se vrijednost β odredi iz relacije (9) i uvrsti u (8), dobiva se

$$R_k'' = P e \frac{y_k J_k}{\sum_n y_k^2 J_k}, \quad (10)$$

pa je ukupna sila

$$R_k = R_k' + R_k'' = \frac{P J_k}{\sum_n J_k} \left(1 + \frac{e y_k \sum_n J_k}{\sum_n y_k^2 J_k} \right). \quad (11)$$

Ako se postavi da je

$$r_{ke} = \frac{J_k}{\sum_n J_k} \left(1 + \frac{e y_k \sum_n J_k}{\sum_n y_k^2 J_k} \right), \quad (12)$$

dobiva se

$$R_k = r_{ke} P. \quad (13)$$

r_{ke} je koeficijent poprečne raspodjele na nosač k , koja se dobiva kad sila $P = 1$ prelazi preko poprečnog nosača.

Kad su svi nosači jednaki, izraz (11) prelazi u oblik

$$R_k = \frac{P}{n} \left(1 + 3 \frac{n+1-2k}{n+1} \frac{e}{b} \right), \quad (14)$$

gdje je k redni broj nosača za koji se traži utjecajna linija, a b polovica širine poprečnog nosača. Tada je koeficijent poprečne raspodjele

$$r_{ke} = \frac{1}{n} \left(1 + 3 \frac{n+1-2k}{n+1} \frac{e}{b} \right). \quad (15)$$

Leonhardtova metoda. Zanemareni su torzijska krutost nosača i smičuće veze između kolovozne ploče i nosača. Uzete su u obzir kao prekobrojne sile u čvorovima između uzdužnih i poprečnih nosača. Računa se kao torzijsko mekana konstrukcija.

Pri tom se računa s krutošću roštilja

$$z_1 = \frac{c}{n^3}, \quad (16)$$

gdje je

$$c = \frac{J_p}{J_u} \quad \text{ i } \quad n = \frac{2b}{l}, \quad (17)$$

u kojima je J_p moment tromosti poprečnog nosača, J_u moment tromosti uzdužnog nosača, b duljina poprečnog, a l raspon uzdužnog nosača.

F. Leonhardt je izračunao vrijednosti koeficijenata poprečne raspodjele za roštilje sa 3...8 nosača, kad krajnji nosači mogu biti i pojačani. Koeficijenti služe za proračun momenta M koji se sastoji od dva dijela. Prvi dio M_0 je moment prosto položenog uzdužnog nosača bez poprečnog nosača, a M^1 je moment kontinuiranog uzdužnog nosača koji leži na poprečnom nosaču. Moment glasi:

$$M = M_0 + M^1 r_{ek}. \quad (18)$$

To vrijedi uz pretpostavku da je jedan poprečni nosač u sredini polja. Može se, međutim, proširiti na više poprečnih nosača i jednako međusobno razmaknutih tako da se računa s idealnim poprečnim nosačem u sredini, koji ima i puta veći moment tromosti. Povećanje momenta tromosti iznosi:

- za 2 poprečna nosača $i = 1$,
 za 3 i 4 poprečna nosača $i = 1,6$,
 za 5 i 6 poprečnih nosača $i = 2,0$.

Tada je roštiljna krutost $z_2 = iz_1$. Na kontinuirane nosače može se također primijeniti postupak sa zamjenom poprečnih nosača jednim poprečnim nosačem u sredini polja. Pri tom se moment tromosti glavnog nosača određuje pomoću faktora K . Taj je faktor

$$K = \frac{\delta_a}{\delta'_a}, \quad (19)$$

gdje je δ_a progib slobodno položenog glavnog nosača, a δ'_a progib kontinuiranog glavnog nosača. Tada se za jedan poprečni nosač u sredini roštiljna krutost određuje iz izraza

$$z_3 = \frac{z_1}{K}, \quad (20)$$

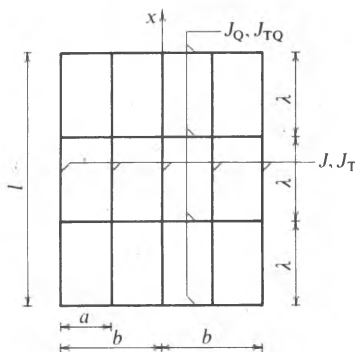
a za više poprečnih nosača u poljima iz relacije

$$z_4 = \frac{iz_1}{K}. \quad (21)$$

Hombergov postupak omogućuje točan proračun ravnih, slobodno položenih i kontinuiranih roštilja bez torzijske krutosti i s torzijsko krutim glavnim nosačima. Tada se najprije promatra torzijsko mekani roštilj i uvode se između glavnih i poprečnih nosača u čvorovima sile kao statički prekobrojne veličine. Utjecajne površine roštilja računaju se uvođenjem grupa tereta. Nastaju jednadžbe elastičnosti s međusobno neovisnim grupama jednadžbi, koje imaju neke odnose s jednadžbama elastičnosti kontinuiranog nosača za glavni nosač i elastično popustljivih ležaja za poprečni nosač. Time je sveden proračun na poznate sustave. Pri tom se pretpostavlja da je za torzijsko mekane roštilje moment tromosti konstantan za glavne i poprečne nosače. H. Homberg je proširio taj postupak na torzijsko krute roštilje. Tako se račun svodi na kontinuirani nosač s nepopustljivim oslanjanjem, iako se radi o elastično popustljivom nosaču s pokretnim oslanjanjem. Za kontinuirane roštilje postoje rješenja za sustave preko dva i tri otvora, međutim, za to je potreban velik računski napor. Opisanim postupkom mogu se računati i ortotropne ploče uz pretpostavku da postoji beskonačno mnogo nosača.

Trostov postupak. U već opisanim postupcima, pretpostavlja se da se opterećenja prenose samo preko glavnih i poprečnih nosača. Trost, međutim, uvađa u proračun ne samo poprečni nosač već i kolovoznu ploču. Da bi se dobili jasni statički odnosi u kolovoznoj ploči, glavnim i poprečnim nosačima, odvajaju se poprečni nosači od kolovozne ploče, što dotad nije bilo u praksi. Tako armatura u ploči postaje jednostavnija, jer nema negativnih momenata u uzdužnom smjeru. Proračun reznih sila provodi se pomoću statike i Fourierove analize. Statički prekobrojne veličine su momenti i poprečne sile kolovozne ploče i poprečnih nosača.

Postupak Guyon-Massoneta; metode proračuna prema drugoj pretpostavci — anizotropne ploče. Roštilj se može shvatiti kao ortotropna ploča ako se oba sustava uzdužnih i poprečnih nosača jednoliko rasporede po širini i duljini roštilja (sl. 88).



Sl. 88. Raspored nosača u roštilju

Specijalno, kad su krutosti na savijanje i torziju za glavni i poprečni nosač jednake, dobiva se izotropna ploča. Diferencijalna jednadžba ortotropne ploče glasi:

$$B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y), \quad (22)$$

gdje je p prosječno opterećenje na jedinicu površine, a

$$B_x = \frac{EJ}{a}; \quad B_y = \frac{EJ_Q}{\lambda}; \quad 2H = G \left(\frac{J_T}{a} + \frac{J_{TQ}}{\lambda} \right). \quad (23)$$

Parametar je torzijske krutosti

$$\alpha = \frac{G \left(\frac{J_T}{a} + \frac{J_{TQ}}{\lambda} \right)}{2E \sqrt{\frac{JJ_Q}{a\lambda}}}, \quad (24)$$

a parametar krutosti savijanja

$$\vartheta = \frac{b}{l} \sqrt{\frac{JJ_Q}{a\lambda}}. \quad (25)$$

Y. Guyon je riješio diferencijalnu jednadžbu (22) za prosto položenu ploču bez torzijske krutosti ($\alpha = 0$) za sinusno linijsko opterećenje $(p_A = A \sin \frac{\pi x}{l})$. C. Massonet je proširio proračun na torzijski krutu ploču sa $\alpha = 1$. Za $\alpha = 0$ dobiva se koeficijent poprečne raspodjele K_0 , a za $\alpha = 1$ K_1 . Međuvrijednosti se interpoliraju prema sljedećem izrazu:

$$K = K_0 + (K_1 - K_0) \sqrt{\alpha}, \quad (26)$$

gdje je K omjer stvarnog progiba glavnog nosača roštilja w i progiba w_0 za jednoliko rasprostrto opterećenje na idealnoj širini $2b = am$, odnosno na m glavnih nosača (srednji progib). Izraz za moment uzdužnog nosača glasi

$$M = \frac{K}{m} P m_{0x}, \quad (27)$$

gdje je m_{0x} uplivnica za moment savijanja na mjestu x statički određenog glavnog nosača zbog djelovanja sile $P = 1/m$ (gdje je m broj glavnih nosača). Postupak se može primijeniti i na kontinuirane nosače, kad treba izračunati vrijednosti:

$$\vartheta_x = \vartheta \sqrt[4]{\kappa} \quad \text{ i } \quad \alpha_x = \frac{\alpha}{\sqrt{\kappa}}, \quad (28)$$

gdje je $\kappa = c/48$ omjer progiba proste grede i kontinuiranog nosača, a c koeficijent progiba kontinuiranog nosača, koji se može dobiti iz izraza

$$\delta = \frac{l^2}{EJ} \frac{1}{c}. \quad (29)$$

Ta je metoda vrlo dobra jer uzima u obzir torzijske krutosti nosača, no mana joj je da se ne može primijeniti na kose roštilje. C. Massonet je izradio tablice i dijagrame za određivanje K_0 i K_1 uz različite vrijednosti α i ϑ . Taj se postupak primjenjuje i na kontinuirane roštilje.

Ploče ojačane sa dva rebra. H. Homberg je razvio teoriju proračuna poprečne raspodjele naprezanja roštilja, kojom je obuhvaćena i ploča s dva rebra. Razvijena je uz pomoć pojma vlastite funkcije opterećenja. Dobivaju se, na temelju kontinuirane ploče promjenljivih visina, utjecajne plohe koje omogućuju optimalno dimenzioniranje konstrukcije. S. Grasshoff je izradio utjecajne plohe za ležajni moment s unutrašnje strane grede.

Približni proračun sandučastih presjeka (sl. 89). Sandučasti presjeci proračunavaju se metodom statike štapa. Jednočelijski sanduk tretira se kao štap sa svojim krutostima na savijanje i torziju. Vrlo velika torzijska krutost karakteristika je sandučastih presjeka, pa je zbog toga u takvim presjecima najbolja poprečna raspodjela opterećenja.

Prema Bredtovu stavku posmična sila T za te presjeke iznosi

$$T = t\tau \quad (30)$$

gdje je t debljina stijenke, a τ posmično naprezanje. Ako se uvrsti izraz za posmično naprezanje, dobiva se

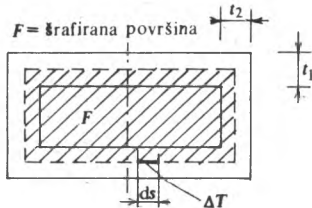
$$T = 2Ft\vartheta G, \quad (31)$$

gdje je

$$\vartheta = \frac{M_D}{GJ_D}, \quad (32)$$

M_D moment torzije, J_D torzijski moment tromosti, G modul smicanja, a F šrafirana površina na sl. 89. Ukupni torzijski moment iznosi

$$M_D = 2Ft\tau. \quad (33)$$

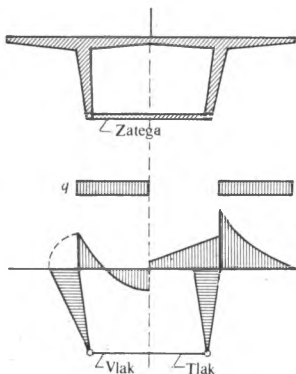


Sl. 89. Uz proračun sandučastog presjeka

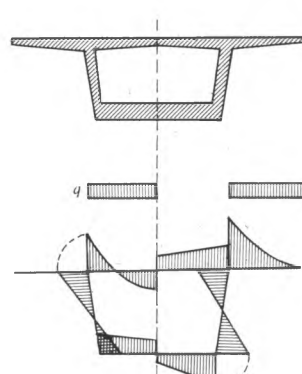
Kad se računa torzija, uzima se krutost za torziju prema Bredtovoj formuli s koeficijentom smanjenja 0,8...0,9 (što je određeno pokusima). Ako se primijeni Bredtov stavak i uspostavi ravnoteža posmičnih sila unutar pojedinih ćelija, dobiva se, uz pretpostavku da je $t = \text{const.}$, matrica s toliko preko-brojnih nepoznanica koliko ima ćelija. Matrica glasi:

$$\begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & & \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} & \\ \delta_{32} & \delta_{33} & \delta_{34} & \\ & & & \ddots \\ & & \delta_{n,n-1} & \delta_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{10} \\ \delta_{20} \\ \delta_{30} \\ \vdots \\ \delta_{n0} \end{bmatrix} \quad (34)$$

Iz matrice (34) mogu se izračunati nepoznate sile $T_1 \dots T_n$, i zatim posmična naprezanja $\tau_1 \dots \tau_n$. Za srednja rebra međusobno se poništavaju posmične sile. Kolovozna ploča proračunava se kao rebrasti presjek, s razlikom da ima veću upetost. Stupanj napetosti dobiva se uz pretpostavku da je sanduk zatvoren okvir. Ako je donja ploča tanka, može se shvatiti kao zatega koja hrptove međusobno povezuje (sl. 90). Ako je donja



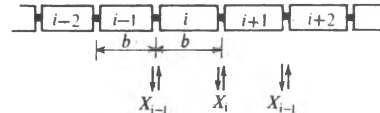
Sl. 90. Momeni tanke donje ploče sa zategom



Sl. 91. Momeni debele donje ploče

ploča debela, tada su hrptovi u nju uključeni (sl. 91). A. Steinle je razradio jednostavan postupak za proračun posmičnih naprezanja u uzdužnom i poprečnom smjeru koja nastaju zbog deformacija jednočelijskog presjeka s dijafragmom i bez nje. Postupak se temelji na analogiji s nosačem na elastičnoj podlozi.

Red nosača. Sustav u kojemu su montažni nosači poredani jedni uz druge bez čvrste međusobne veze naziva se red nosača (sl. 92). Za proračun se pretpostavlja da se opterećenje raspodjeljuje preko zglobova. Pri tom raspodjela ovisi o omjeru čvrstoće na savijanje i čvrstoće na torziju pojedinih elemenata.



Sl. 92. Statički sustav reda nosača

Ako se pretpostave poprečne sile u spojnica kao statički neodređene veličine i razviju u Fourierove redove, one zadovoljavaju jednadžbu

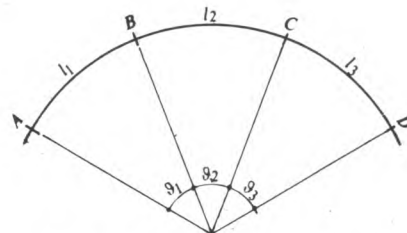
$$-X_{i-1}(1-\beta) + 2X_i(1+\beta) - X_{i+1}(1-\beta) = P_i - P_{i+1}, \quad (35)$$

u kojoj je

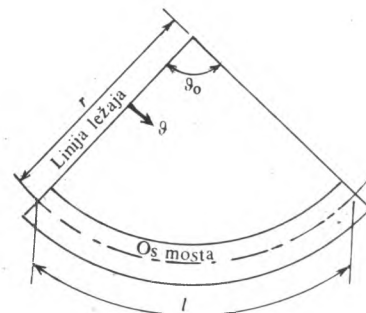
$$\beta = \frac{EJ_b}{4GJ_t} \frac{b^2}{l^2} (n\pi)^2, \quad (36)$$

gdje je EJ_b krutost na savijanje elementa, GJ_t torzijska krutost, b razmak zglobova, l raspon elemenata, a n red prirodnih brojeva 1, 2, 3, Svrishodno je takve elemente prednapregnuti, jer se u armiranim konstrukcijama brzo doseže dopuštena granica posmičnih naprezanja.

Mostovi u krivini. Teorija mostova u krivini (sl. 93), koju je izradio J. Courbon, sastoji se od tri dijela. Prvi se osniva na Bresseovoj formuli za nosače s ravnim središnjim vlaknom koji su opterećeni okomito na ravninu srednjeg vlakna. Pomoću tih formula mogu se proračunati komponente pomaka nekog presjeka kao funkcija posmičnih sila, momenata savijanja i torzije uzduž središnjeg vlakna. Drugi dio obrađuje proračun kružnih mostova s jednim ili više kontinuiranih raspona. Momenti savijanja mogu se izračunati neovisno o momentima torzije, pomoću statičkih jednadžbi ili pomoću jednadžbi triju momenata, kojima koeficijenti ovise o krutosti na savijanje i torziju nosača.



Sl. 93. Kutovi i lukovi mosta u krivini



Sl. 94. Tlocrt mosta u krivini

Kad su mali kutni otvori $\varphi = l/r$ (sl. 94), uvode se korekcije uz pretpostavku da su nosači ravni. Treći dio teorije proširuje dio rezultata dobivenih u drugom dijelu na košarastu krivinu. U praksi se većinom radi o malo zakrivljenim mostovima ($\varphi \leq 0,2$). Takvi mostovi računaju se kao ravni s tim da se izračunati momenti i sile množe popravnim koeficijentom.

Veoma zakrivljeni mostovi mogu biti pješački ili mostovi na serpentinama. Zbog krivine u simetričnim presjecima javlja se torzija djelovanjem stalnog opterećenja. Potrebno je, zbog toga, upotrijebiti presjke krute na torziju, kako bi se smanjila torzijska naprezanja. Krajevi nosivih konstrukcija polažu se torzijski kruto na ležaje. Omjeri momenata savijanja i torzije, te razlike između ravnih konstrukcija i konstrukcija u krivini mogu se za proste grede lako odrediti. Ako je, naime, $\varrho = \frac{\text{krutost na savijanje}}{\text{krutost na torziju}}$, tada su deformacije ovisne samo o tom omjeru. Za ravnomjerno raspodijeljeno opterećenje (indeks p) dobiva se približni izraz

$$\max M_{(p)}^T \approx \frac{\vartheta_0}{\pi} \max M_{(p)}^S, \quad (37)$$

a za ravnomjerno raspodijeljene momente torzije (indeks mt) izraz

$$\max M_{(mt)}^S \approx \frac{\vartheta_0}{\pi} \max M_{(mt)}^T, \quad (38)$$

gdje je M^T moment torzije, M^S moment savijanja, a ϑ_0 središnji kut krivine (sl. 94). Sličnost izraza (37) i (38) omogućuje ocjenu momenata savijanja i torzije, koji su bitni za dimenzioniranje konstrukcije. Za malo zakrivljene nosače (indeks k) dobivaju se uvođenjem uvjeta oslanjanja sljedeći izrazi za momente savijanja i torzije

$$M_{(k)}^S \leq M_{(r)}^S \left(1 + \frac{\vartheta_0^2}{\pi^2} \right), \quad (39)$$

$$M_{(k)}^T \leq M_{(r)}^T \left(1 + \frac{\vartheta_0^2}{\pi^2} \right), \quad (40)$$

gdje su $M_{(r)}^S$ i $M_{(r)}^T$ momenti ravnog nosača. Pogreška iznosi ~3%.

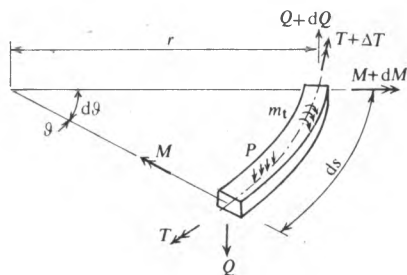
Za kontinuirane grede jednadžbe ravnoteže glase (sl. 95)

$$\frac{dQ}{ds} + p = 0, \quad (41)$$

$$\frac{dM}{ds} - \frac{T}{r} = 0, \quad (42)$$

$$\frac{dT}{ds} + \frac{M}{r} = -m_t. \quad (43)$$

Tim jednadžbama prikazan je utjecaj krivine i torzije na savijanje ravnog nosača. Moment torzije je maksimalan kad je moment savijanja nula. To nastupa, npr., na ležaju proste grede. Iz izraza (42) i (43) slijedi da su znatno smanjeni torzijski momenti kontinuiranih nosača. Torzijski momenti mogu se smanjiti ekscentričnim postavljanjem srednjih stupova.

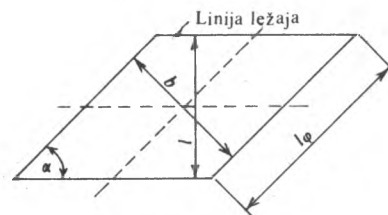


Sl. 95. Vanjske i unutrašnje sile na element mosta u krivini

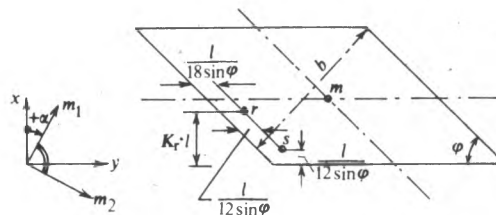
Problemi proračuna zakrivljenih nosača obrađeni su u djelima R. Dobrowskog, G. Rakowskog i R. Soleckog, M. Vredena, M. Schulza i drugih.

Kosi mostovi. U nosivoj konstrukciji kosih mostova (sl. 96) nastaju torzijski momenti, čime se u vlačnoj zoni povećavaju glavna vlačna, odnosno u tlačnoj zoni glavna tlačna naprezanja.

Smjer glavnih naprezanja obično se razlikuje od smjera armature, što je nepovoljno s obzirom na mogućnost pojave pukotina. Kad je kut skretanja mosta α (sl. 96) manji od 60° , povoljno je provesti, osim uzdužnog, i poprečno prednaprezanje.



Sl. 96. Kosi most



Sl. 97. Mjerodavne točke za dimenzioniranje kosih grednih mostova

H. Homberg odredio je mjerodavne točke za dimenzioniranje kosih ploča (sl. 97). U točki m pojavljuje se maksimalni moment u polju; u točki r maksimalni moment u polju uzduž slobodnog ruba, a u točki s minimalni moment u blizini tupog kuta zbog upetosti. Spomenuti momenti mogu se smanjiti primjenom ležaja koji se može pokretati u svim smjerovima. Što je manji kut α , nastaju u tupom uglu na rubu veća tlačna naprezanja. U linijskom ležaju iza tlačnih naprezanja prema sredini nastaju vlačna naprezanja koja nastoje podići ploču, čime se smanjuju momenti upetosti. Isto djelovanje ima popustljivi ležaj na kraju. Visoki rubni pritisci i veliki momenti upetosti na tупim uglovima kosih ploča mogu se smanjiti povećanim razmakom pojedinačnih ležaja.

Ploče nepravilnog oblika računaju se metodom konačnih elemenata ili pomoću modela. Kosi mostovi s rebrastim presjekom mogu se dovoljno točno računati kao pravokutni kad je kut $\alpha \geq 60^\circ$. Samo na tupom uglu treba se krajnji ležaj dimenzionirati s dodatkom od $1/\sin \alpha$. Za manje vrijednosti α nastaju različiti progibi glavnih nosača, zbog čega nastaju u hrptovima torzijski momenti, što ovisi o omjeru torzijske krutosti i krutosti na savijanje glavnih nosača. Spomenuti momenti su momenti prisile, koji se smanjuju prijelazom u granično stanje, tj. nastankom pukotina. Za sandučaste presjeke najbolje je ležaje staviti u sredinu ili okomito na os konstrukcije. Ako to nije moguće, tada je često bolje samo jedan ležaj postaviti u tupom uglu, a u šiljatom uglu poduprijeti ploču malim gumenim ležajem.

Minimalna meka armatura. Dimenzije elemenata mostova određuju se prema sličnim izvedbama i iskustvu. Poslije proračuna reznih sila i presjeka kabela za prednaprezanje kontroliraju se naprezanja u svim karakterističnim presjecima. Osim proračuna naprezanja, treba također proračunati sigurnost od pojave loma djelovanjem momenata i poprečnih sila, te sigurnost od pojave pukotina. Za trajnost građevine važno je da konstrukcija ima što manje i što sitnije pukotine. To se može postići ugradnjom dovoljne količine meke armature. Ta armatura ne smije imati preveliki promjer i preveliki međusobni razmak. Za proračun takve armature treba uzeti u obzir ne samo opterećenje i prednaprezanje već i temperaturu i stezanje. Potrebno je također proračunati progib od stalnog opterećenja, pri čemu treba uzeti u obzir pužanje, kako bi se moglo odrediti nadvišenje ili upuštanje. Minimalnu armaturu treba proračunati prema postojećim propisima. F. Leonhardt smatra da ona mora imati toliki presjek da ne bude napregnuta preko granice velikih produljenja kad nastaju pukotine.

Minimalne vrijednosti karakterističnih omjera iznose:

$$\text{za centrični tlak: } \min \mu_z = \frac{f_{ct}}{f_s} = \frac{0,24 f_{cc}^{2/3}}{f_s}, \quad (44)$$

$$\text{za savijanje i uzdužni tlak: } \min \mu_z = 0,4 \frac{f_{ct}}{f_s}, \quad (45)$$

gdje je f_s granica velikih produljenja armature, f_{ct} vlačna čvrstoća betona, a f_{cc} tlačna čvrstoća betonske kocke.

Upornjaci. Na upornjak djeluje vlastita težina, akcija stalnog i pokretnog opterećenja s nosive konstrukcije, uzdužne horizontalne sile (kočna sila, otpor ležaja, trenje), uzgon, aktivni tlak zemlje s djelovanjem pokretnog opterećenja i bez tog djelovanja. Upornjak treba ispitati na sljedeća opterećenja: a) najveća akcija s nosive konstrukcije, b) najmanja akcija i aktivni potisak zemlje s pokretnim opterećenjem iza upornjaka i c) kombinacije opterećenja koje nastaju od djelovanja horizontalnih sila, uzgona, temperature, vjetra itd.

Stupovi. Na stup djeluje vlastita težina, akcija stalnog i pokretnog opterećenja s nosive konstrukcije, uzdužne horizontalne sile (kočna sila, otpor ležaja, trenje, vjetar na stupove, potres), poprečne horizontalne sile (centrifugalna sila, vjetar, potres), uzgon. Osim toga treba računati s pomakom pokretnih ležaja zbog djelovanja temperature, stezanja i puzanja. Stupove treba proračunati za najnepovoljnije kombinacije spomenutih opterećenja i na izvijanje.

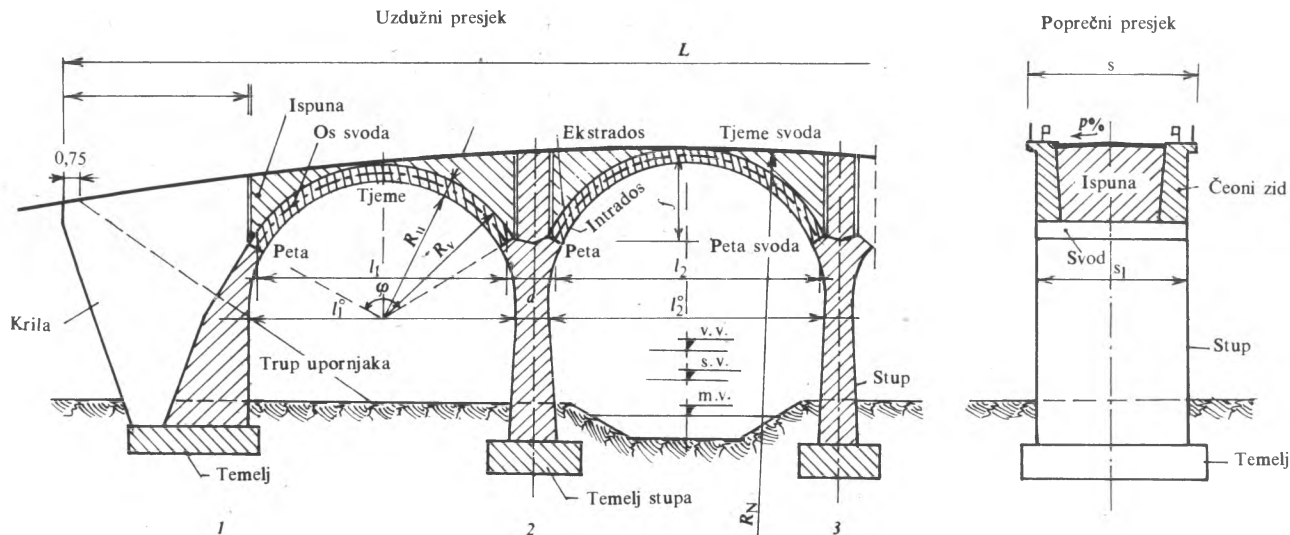
Visoki stupovi. Pri proračunu visokih stupova potrebno je osobito kontrolirati stabilnost. Naime, pri proračunu vitkih elemenata na koje djeluje normalna sila i moment valja uzeti u obzir i deformirani oblik osi pritisnutog elementa. Ta se promjena utvrđuje uzimajući u obzir i dugotrajne utjecaje. Za konstantne presjeke postoje u literaturi gotova rješenja. Proračun promjenljivih presjeka razvio je Vianello. Njegov dokaz sigurnosti od izbočenja osniva se na iteracijskom postupku.

Najprije se pretpostavlja linija savijanja, koja se podudara s elastičnom linijom, što se dobije kao momentna linija momenta (Makrov stavak). Budući da se to nikada ne postiže u prvom pokušaju, treba tako dugo pokušavati dok se ne postigne dovoljna točnost.

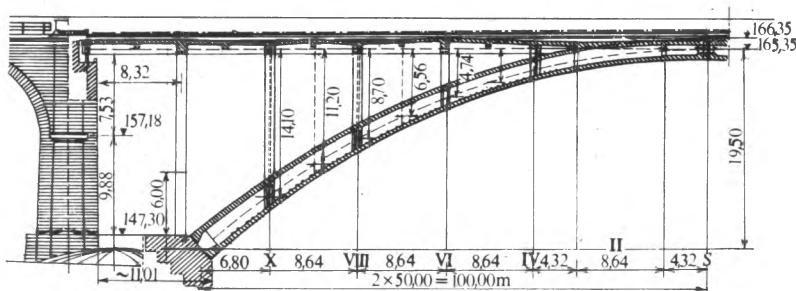
Budući da je Vianellov postupak nepraktičan i dugotrajan, Quast je dao jednadžbe za proračun sila u armiranobetonskim presjecima stupova s promjenljivim oblikom. Cilj njegovog rada je dokaz nosivosti prema graničnim stanjima. Stabilnost stupova s kotrljajućim ležajevima ispitali su W. Zies i Liermann. Spomenuti ležajevi povoljno djeluju na stabilnost stupova, budući da kod deformiranog stupa nastaje moment i nagnuće gornje površine, što smanjuje moment savijanja u stupu.

LUČNI MOSTOVI

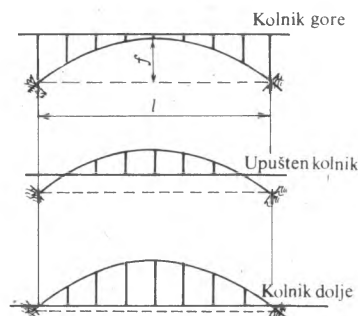
Lučni su mostovi konstrukcije kojima je osnovni nosivi sustav luk ili svod (v. *Lukovi* TE 7, str. 564). Luk i svod razlikuju se prema širini: luk je male, a svod veće širine. Sastavni dijelovi lučnog mosta (sl. 98) malog raspona jesu svod, čeonii zidovi, upornjaci i ispuna između čeonih zidova. Iznad svoda često se izvode tzv. štedni otvori. Luk ima tjeme, petu, donju površinu (intrados), gornju površinu (ekstrados), čelo, širinu, raspon l i strelicu f , stinjenost f/l , smjelost l^2/f . Mostovi većih raspona raščlanjenog su tipa (sl. 99). Sastoje se od svodova ili lukova, stupaca, kolovozne konstrukcije, zglobova i upornjaka. Kolovozna konstrukcija može biti luk, ploča ili rebrasta konstrukcija. Stupci su kvadratnoga, okruglog ili pravokutnog presjeka. Lučni se mostovi danas grade od armiranog betona, jer se tako smanjuje potrebna količina betona, a armatura preuzima nepovoljne utjecaje stezanja, puzanja i promjene temperature. Osnovni statički sustavi jesu upeti, dvoglozni i trozglozni luk, a grade se kao lukovi sa sponom, kao Nielsenov luk i kao lučni zid. Ako je dovoljna građevna visina, postavlja se kolnik iznad luka. Ako visina nije dovoljna, kolnik može biti upušten ili smješten ispod luka.



Sl. 98. Svođeni most. l_1 krajnji raspon luka (svoda), l_2 srednji raspon luka, l_1^0 krajnji otvor, l_2^0 srednji otvor, L duljina mosta, f strelica luka, f/l stinjenost luka, l^2/f smjelost luka, S širina mosta, R_v polumjer ekstradosa, R_u polumjer intradosa, R_N polumjer zaobljenja nivelete, S_1 širina luka

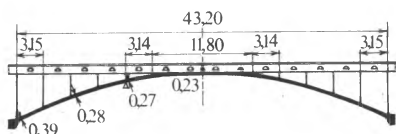


Sl. 99. Tip raščlanjenog lučnog mosta

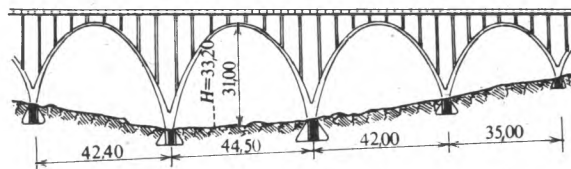


Sl. 100. Upeti luk

Upeti lukovi (sl. 100) najjednostavniji su i najjeftiniji, jer nemaju skupih zglobova, pa ne smeta ako donji dio luka dođe pod vodu. Visina im se većinom povećava idući od tjemena prema peti. R. Vallette, francuski inženjer, predlaže kao ekonomičnije rješenje luk u obliku srpa. Tada su momenti u peti znatno manji i više izjednačeni s momentima u ostalim presjecima. R. Maillart je sagradio vitki luk, koji je preuzeo samo osne sile, dok momente preuzima kruta kolovozna konstrukcija (sl. 101). Najčešće je luk krut, a kolovozna konstrukcija mekana, pa luk preuzima i osne sile i momente. Ako su kolovozna konstrukcija i luk vrlo kruti, tada se momenti prenose na oba elementa u odnosu njihovih krutosti. Za dulje mostove izvode se lukovi u nizu (sl. 102). Tada se horizontalni potisci od stalnog opterećenja susjednih lukova poništavaju, ako su im isti rasponi, i na stupove djeluju samo vertikalne akcije. Ima izvedaba kad iznad lukova nema stupića, već se luk i kolovozna konstrukcija spajaju u tjemenu. Tada luk ima ulogu razupore.

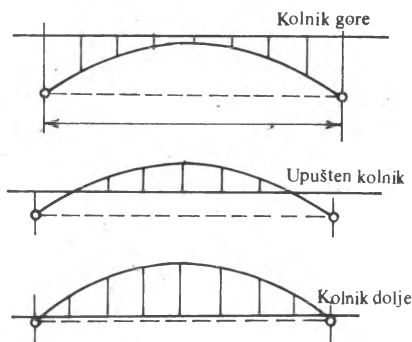


Sl. 101. Vitki luk s krutom kolovoznom konstrukcijom



Sl. 102. Lukovi u nizu

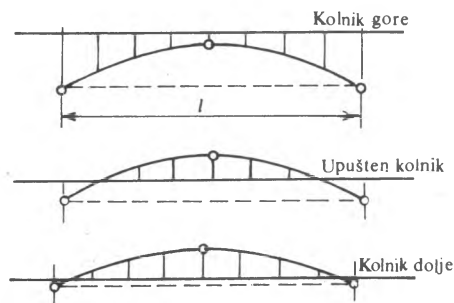
Dvoglobni lukovi (sl. 103) primjenjuju se za mostove s velikom stinjenosti (velika vrijednost omjera strelice f i raspona l). Dodatni momenti zbog skupljanja i puzanja tada su najmanji.



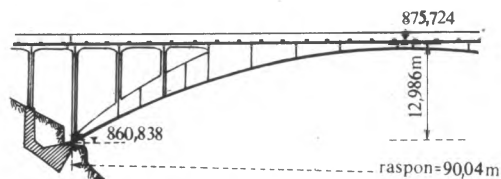
Sl. 103. Dvoglobni luk

Zglobovi su smješteni u petama luka. Debljina luka je konstantna ili se povećava idući prema tjemenu, analogno anvelopi maksimalnog momenta. Kolnik može biti iznad luka, upušten i ispod luka. Kad je kolnik iznad luka, kolovozna konstrukcija počiva na stupovima, kad je kolnik upušten, kolovozna je konstrukcija dijelom na stupovima a dijelom je obješena na vješaljima, a kad je kolnik ispod luka, cijela je konstrukcija na vješaljima. Stupovi i vješaljke su obično vertikalni, ali mogu biti i kosi.

Troglobni je luk (sl. 104) pogodan za male građevne visine, te kad postoji opasnost od slijezanja upornjaka i stupova. Zglobovi su smješteni u obje pete i u tjemenu luka. Budući da je sustav statički određen, znatno su smanjeni dodatni momenti zbog stezanja, promjene temperature i razmicanja upornjaka. Visina presjeka luka je konstantna ili se mijenja kao npr. u Maillartovim lukovima, gdje je najveća visina u



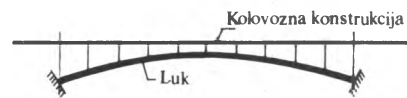
Sl. 104. Troglobni luk



Sl. 105. Maillartov troglobni luk

četvrtinama luka (sl. 105). Često se zglobovi u peti pomiču prema sredini polja. Tada upornjaci dobivaju konzole, kojima duljina iznosi 2,5...4% od raspona.

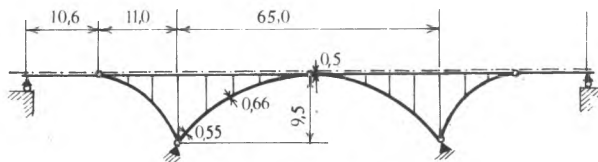
Luk sa sponom gradi se sa sva tri položaja kolnika. Bit je toga sustava da potisak luka preuzima spona, koja je obično smještena unutar kolovoznih nosača. Zbog toga na ležaje djeluju samo vertikalne akcije, pa je zato luk sa sponom pogodan kad su stupovi visoki ili kad je tlo slabo. Mogu se graditi kao upeti, sa dva ili tri zgloba. Prema potrebi gradi se kruti luk i mekana kolovozna konstrukcija (sl. 106), mekani luk i kruta kolovozna konstrukcija (taj se sustav naziva Langerova greda, sl. 107), te kruti luk i kruta kolovozna konstrukcija.



Sl. 106. Kruti luk s gipkom kolovoznom konstrukcijom



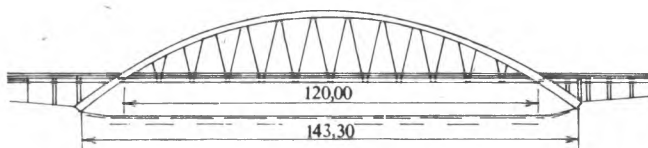
Sl. 107. Langerova greda



Sl. 108. Luk sa zategom iznad njega

Kad je kolnik upušten i kad se kolnik nalazi ispod luka, armatura je zatega smještena u rubne nosače. Vješaljke su obično od armiranog betona, no mogu biti također od čelika ili od prednapregnutog betona. Ako su od armiranog betona, betoniraju se naknadno nakon otpuštanja skele, da beton ne bi pucao zbog vlačnih naprezanja. Ako je kolnik iznad luka, zatega se smješta unutar kolovoznih nosača (sl. 108). Nekoliko takvih mostova izgrađeno je u SSSR.

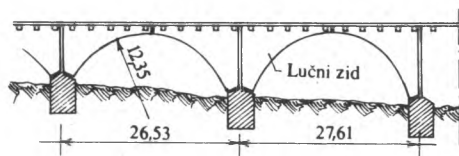
Nielsenov luk, sustav s kosim vješaljima, naziva se po pronalazaču Nielsenu (sl. 109). U takvoj konstrukciji momenti iznose $ql^2/250$, dok u konstrukciji s vertikalnim vješaljima $ql^2/64$, što je četiri puta više. Ušteda betona iznosi 15%.



Sl. 109. Nielsenov luk

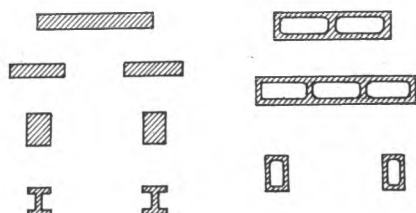
Varijanta je takva rješenja da je kolnik u sredini raspona razdvojen zglibom; tada se potisna sila prenosi na upornjake.

Mostovi s lučnim zidovima u statičkom su pogledu kombinacija luka i zida. Sastoje se od dva ili više vertikalnih lučnih zidova povezanih pločom s gornje strane (sl. 110). Zbog toga se takav sustav primjenjuje samo s kolnikom iznad luka. U prošlosti su građeni lučni mostovi s krutom armaturom, koja je ujedno služila kao skela. Montažna gradnja lučnih mostova dosada se rijetko primjenjivala, osim u SSSR.



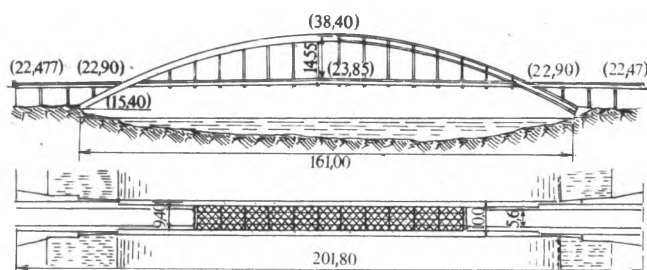
Sl. 110. Most s lučnim zidovima

Poprečni presjeci lukova odlikuju se raznovrsnošću. Zanimljivo je da su F. Hennebique i kasnije R. Maillart stvorili prototipove mostova koji se i danas grade. Do pojave armiranog betona primjenjivani su puni presjeci jednaki širini mosta. Razvitkom armiranobetonskih mostova presjek je raščlanjivan (sl. 111). Tako su nastala dva ili više blizanaca svoda ili luka.



Sl. 111. Neki presjeci lukova lučnih mostova

Korak dalje su šupljiji presjeci s jednom ili više čelija, što ovisi o širini mosta. Svi su veliki svodovi i lukovi šupljeg presjeka. Debljina svodova iznosi $1/60 \dots 1/100$ raspona. Pri odabiranju debljine lukova valja paziti na stabilnost. Luk se može izvinuti u vertikalnoj ili, ako je uzak, u horizontalnoj ravnini. Zbog toga širina jednodijelnih svodova ne bi smjela biti manja od $1/20$ duljine mosta, a svodova blizanaca manja od $1/32$ duljine. Ušteda betona postiže se lučnim nosačima male širine. Zbog male bočne krutosti potrebno je između takvih lukova ugraditi vjetrovne sprege u obliku rešetkastih nosača (sl. 112).



Sl. 112. Most preko rijeke Seine (La Roche Guyon)

Debljina lukova jednostavnih sustava iznosi $1/40 \dots 1/60$ duljine mosta, te je veća nego za svodove. Kad se izvodi Nielsenov luk i Langerova greda, debljina luka može iznositi $1/120$ duljine luka.

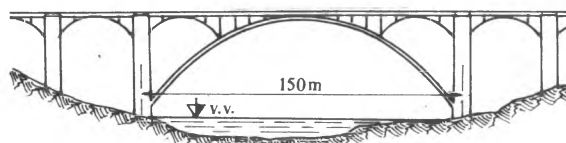
Konstruktivni elementi

Kolovozna konstrukcija iznad svoda, odnosno luka može biti puna ili raščlanjena.

Kad je kolovozna konstrukcija puna, između čeonih zidova nalazi se dobro nabijena zemlja ili mršavi beton (sl. 113). Iznad ispune stavlja se kolnik od tvrdo lijevanog asfalta u dva sloja, na betonskoj podlozi ako je ispunjena zemljana. Debljina čeonih zidova može se smanjiti ugradbom zatega. Puna kolovozna konstrukcija primjenjivala se od nastanka svodovih mostova do pojave armiranog betona. Danas se tako grade manji mostovi i propusti. Da se smanji težina, svodovi su se olakšavali štednim otvorima u obliku malih svodova.

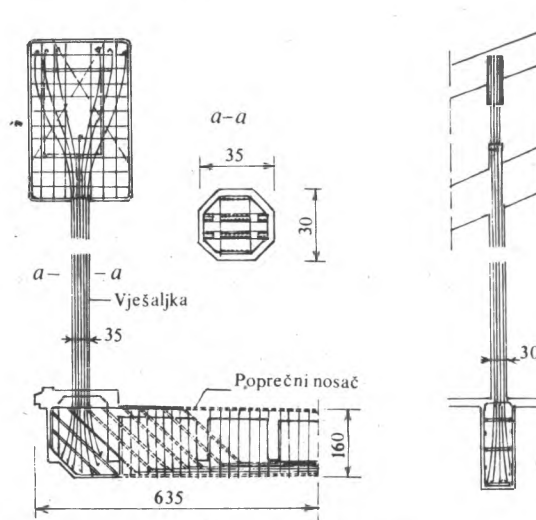


Sl. 113. Svodeni most s ispunom



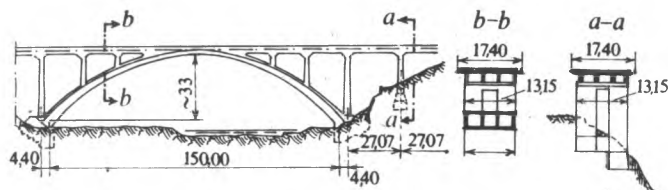
Sl. 114. Most preko Vltave u Podolsku

Raščlanjena kolovozna konstrukcija sastoji se od ploče ili rebraste konstrukcije poduprte stupovima. Katkada se umjesto grednih sustava grade svodovi (sl. 114). Stupovi mogu biti zidovi po čitavoj širini svoda ili više stupova okrugloga, kvadratnoga, pravokutnog i drugačijih presjeka. Ploča može biti puna ili sa šupljinama, što ovisi o njenu rasponu. Rebrasta konstrukcija primjenjuje se za veće raspone. Može biti betonirana na gradilištu ili montažna, odnosno polumontažna. Sastoji se od kolovozne ploče, uzdužnih rebara i poprečnih nosača. Kad su lukovi ili svodovi široko razmaknuti, potrebni su jaki poprečni nosači na koje se oslanja sustav podužnih nosača. Tada se na stupove prenose momenti, jer poprečni nosači i stupovi sačinjavaju okvirne konstrukcije. Osim toga, u tim okvirima mogu nastati znatne sile i momenti zbog nejednolikog ugiba lukova pri asimetričnom opterećenju. U statičkom pogledu stupovi mogu biti zglibno oslonjeni i dolje i gore, dolje upeti, a gore zglibno vezani kolovoznom konstrukcijom, ili i dolje i gore upeti. Kad se kolnik nalazi ispod luka, kolovozna konstrukcija ovisi o tipu rasponske konstrukcije. Ako je luk krut, a kolovozna konstrukcija gipka, primjenjuju se često poprečni nosači ovješeni vješaljama o lukove (sl. 115).



Sl. 115. Poprečni nosač i vješaljke

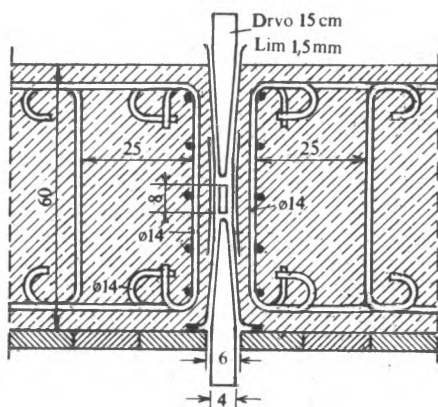
Uzdružni nosači oslanjaju se na poprečne nosače i nose kolovoznu ploču. Krajnji uzdužni nosači ujedno su zatege lukova. Kad je luk gibak s uzdužnim nosačima velike krutosti, poprečni nosači oslanjaju se na uzdužne, a kolovozna ploča na poprečne nosače. Širi mostovi imaju iz ekonomskih razloga još i uzdužne nosače (sl. 116).



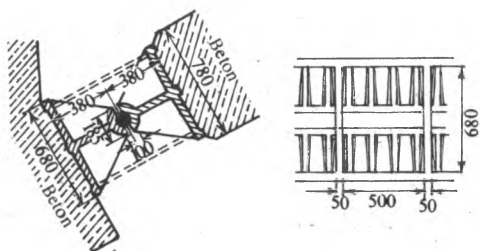
Sl. 116. Lučni most s uzdužnim kolovoznim nosačima

Kad su lukovi međusobno vezani prečkama, prečke, vješaljke i poprečni nosač čine zatvoreni okvir. Ako lukovi nisu spojeni prečkama, vješaljke i poprečni nosač čine okvir otvoren prema gore. Razmaci vješaljki ovisni su o rasponu nosivog luka. Može biti i više od deset polja. Izbor kolovozne konstrukcije ovisi o konstruktivnim, ekonomskim, izvedbenim i estetskim razlozima.

Zglobovi se grade u tjemenu i u petama lukova. Oni dopuštaju zakrete elemenata lukova i određuju mjesto potporne linije. Katkad se u upete svodove ugrađuju privremeni zglobovi da bi se svod za vrijeme gradnje mogao pokretati bez dodatnih momenata i da bi se smanjio utjecaj stezanja. Tada se nakon spuštanja skele zglobovi zatvaraju. Prije su se gradili zglobovi od kamena i betona. Danas se grade većinom od armiranog betona (sl. 117) i čelika (sl. 118). Za važnije objekte



Sl. 117. Armiranobetonski zglob s olovom za manje sile

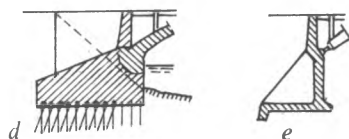
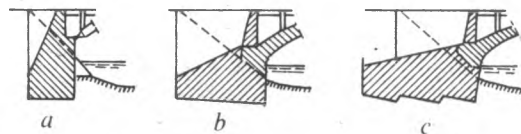


Sl. 118. Čelični ležaj u tjemenu

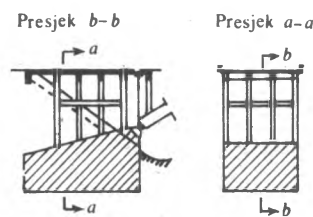
upotrebljavaju se čelični zglobovi, jer imaju najmanju ekscentričnost. S obzirom na točnost centriranja bolji su zglobovi sa svornjakom od valjkastih zglobova.

Upornjaci lučnih mostova (sl. 119) preuzimaju vertikalne i horizontalne akcije od lukova, te ih prenašaju na tlo. Njihove dimenzije ovise o iznosu sila, kvaliteti tla i dubini temeljenja. Donja ploha temelja obično je horizontalna ili blago nagnuta da bi se povećala stabilnost prema klizanju. Preko donje plohe

prenaša se vertikalna akcija na tlo, a preko vertikalne plohe i trenja (na donjoj plohi) horizontalna akcija. Pri izboru oblika upornjaka treba, također, kontrolirati stabilnost prema prevrtanju. Upornjaci su od masivnog betona, a izrađuju se i laki upornjaci od armiranog betona. Kad je nosivo tlo na većoj dubini, izrađuju se katkada šuplji upornjaci (sl. 120). Krila su obično paralelna. Između njih se ispunjuje prostor dobro nabijenom zemljom. Iznad temelja može se izgraditi i šuplja armiranobetonska konstrukcija s rebrastom kolovoznom konstrukcijom.



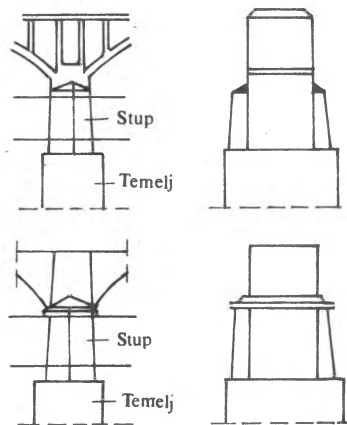
Sl. 119. Nekoliko tipova upornjaka



Sl. 120. Šuplji upornjaci

Duljina masivnih upornjaka iznosi u slabijem tlu $1/3 \dots 1/5$ raspona, već prema štinjenosti luka, a u boljem tlu duljina se upornjaka smanjuje na $1/8 \dots 1/10$ raspona.

Stupovi lučnih mostova bili su nekad masivni, kompliciranih presjeka i promjenljivih nagiba ploha (sl. 121). U težnji za racionalnošću, njihovi oblici kasnije postaju jednostavniji, prilagođeni načinu gradnje, tj. kliznoj ili penjačkoj oplati kad se grade visoki stupovi, odnosno običnoj oplati kad se grade niski stupovi. Na njihove dimenzije utječu akcije s lukova, odnos pokretnog i stalnog opterećenja, visina peta lukova iznad terena, oblik stupa, kvaliteta tla i estetski zahtjevi. Kad su susjedni svodovi različitih raspona, sa strane većeg raspona djeluje veća horizontalna sila. To može zahtijevati asimetrični oblik temelja, dok se stup oblikuje simetrično. Presjeci stupova mogu biti puni ili šuplji. Ako se grade od masivnog betona, mogu imati velike dimenzije zbog znatnih horizontalnih sila. Stupovi od armiranog betona imaju znatno manje dimenzije (sl. 122).



Sl. 121. Stupovi za lučne mostove

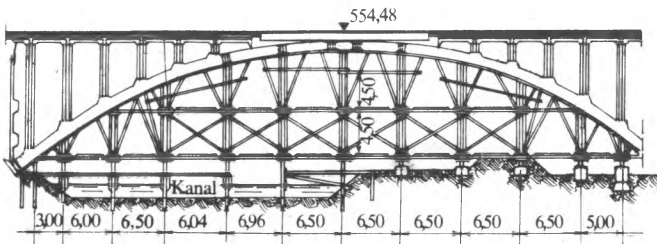


Sl. 122. Armiranobetonski šuplji stup

Proračun stupova mora obuhvatiti osim njihova dimenzioniranja i sigurnost od prevrtanja i klizanja.

Gradnja lučnih mostova

Najteži i najopasniji dio gradnje lučnih mostova jest gradnja skele. Donedavno gradili su se lučni mostovi na skeli koja se nalazila ispod luka. Skela se sastojala od temeljnih pilota, podupirača, kliješta, nosivih greda i oplata (sl. 123). Pri gradnji



Sl. 123. Drvena skela za gradnju lučnog mosta

kamenih mostova namještali su se na skelu klesanci određenim redom i vezom. U spojnice se stavljao mort, a nekada i olovo, ili su se tako precizno obrađivale spojnice da su klesanci ležali neposredno jedan na drugome. Tokom gradnje betonskih mostova lukovi su se betonirali u lamelama određenim redom, a između lamela ostavljao se razmak, koji se ispunjavao betonom tek kad se skela slegla. Napredak u gradnji lučnih mostova ostvaren je gradnjom mosta preko rijeke Elorn kod Plougastela u Bretanji kad je M. E. Freyssinet (1879—1962) izveo lučnu skelu bez podupirača. Iskoristio ju je tri puta, tako da je svaki put uplovio s njom u otvor, jer je tokom plovidbe bila oslonjena na pontone (sl. 124). Za gradnju mosta Caille (Francuska)



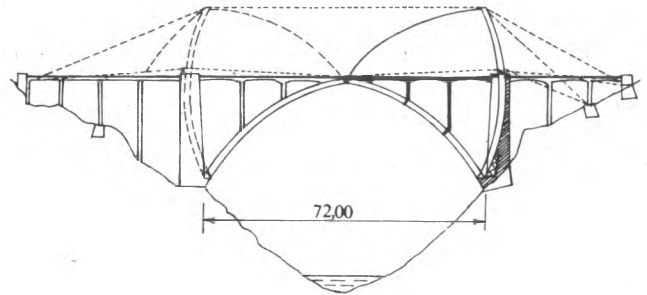
Sl. 124. Plovača skela za most kod Plougastela

upotrebljena je također lučna skela, ali je bila ovješena u toku gradnje o nosive kabele. Takve skele često su vrhunska dostignuća u drvenim konstrukcijama. Osim drvenih skela, upotrebljavaju se katkada i metalne skele.

Kad su se gradili mostovi na auto-cesti Caracas—La Guaira u Venezueli, Freyssinet je dao ideju da se izgrade armirano-

betonski lukovi pomoću skela ovješanih o kabele. Ta je metoda iskorištavana i za gradnju čeličnih lukova. Po završetku betoniranja prvog odsjeka, montirala se skela drugog odsjeka ovješena o nove kabele i betonirao se taj odsječak. Postupak bi se ponavljao do srednjeg dijela skele, koji je bio izgrađen na dnu uvale i podignut na svoje mjesto.

Za gradnju velikog luka betonskog mosta preko Dunava kod Novog Sada izvedena je lučna skela od gotovih armiranobetonskih elemenata. Za gradnju šibenskog (sl. 125) i paškog mosta projektant je upotrijebio čeličnu skelu duljine 27 m, koja je bila ovješena o čelične kabele. Nakon završenoga betoniranja krajevi očvrslilih lamela prihvaćali su se novim zategama, skela se zatim premještala naprijed i ovjesila se o nove kabele. Postupak se ponavljao do završetka luka. Zanimljiva je lučna skela (sl. 126), koja ima dvije polovice od kojih se svaka gradi u vertikalnom položaju da bi se nakon što su izgrađene spustile pomoću zatega prema sredini, gdje se spajaju u cjelinu.

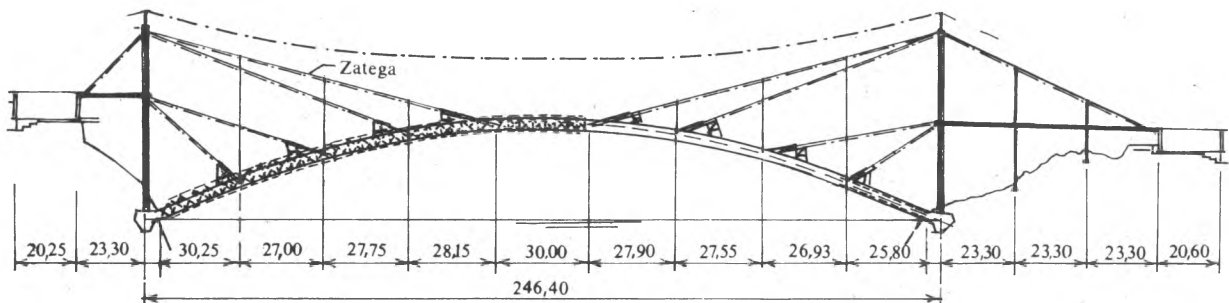


Sl. 126. Vertikalna izvedba polovice luka i spuštanje u konačni položaj

Metode proračuna

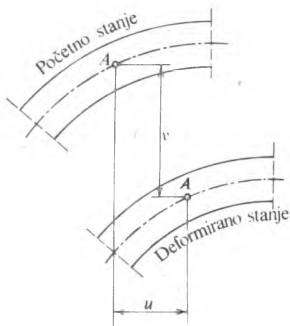
Luk je osnovni nosivi element lučnih mostova. Njegova je glavna karakteristika da u njemu pretežno djeluje tlak, za razliku od visećih mostova gdje je glavni nosivi element uža napregnuto na vlak. Proračun mostova manjih i srednjih raspona provodi se prema približnoj teoriji, dok se za proračun velikih raspona primjenjuje stroga teorija. Da se isključi utjecaj momenata u luku od utjecaja težine, računa se da je os luka potporna linija, koja se dobiva kao verižni poligon za stalno opterećenje. Takvi se momenti ne mogu potpuno eliminirati, jer se luk deformira zbog elastičnosti i plastičnosti materijala, pa zbog toga nastaju dodatni momenti. Međutim, najveći momenti u luku nastaju djelovanjem pokretnog opterećenja. Prema približnoj teoriji dobivaju se momenti i za 25% manji od stvarnih, pa je takva teorija na strani nesigurnosti. Budući da omjer naprezanja od pokretnog i stalnog opterećenja iznosi najviše 0,24, što ovisi o tipu konstrukcije, rasponu i strelici, nastaje pogreška otprilike 6%, koja se može u praksi tolerirati.

Proračunom sigurnosti s obzirom na izvijanje uzimaju se u obzir i pomaci luka v i u prema sl. 127 (točnija teorija). Za vrlo položite lukove dovoljno je računati samo s vertikalnim deformacijama v . Na ponašanje betonskih konstrukcija mnogo utječe plastičnost betona. Naime, djelovanjem sile u dužem razdoblju nastaje plastična deformacija, koja se naziva

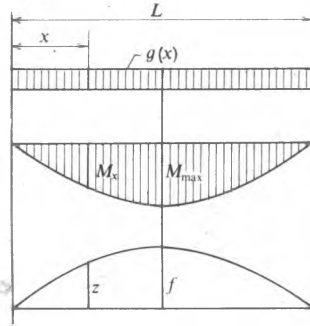


Sl. 125. Konzolna izvedba šibenskog mosta

puzanjem. Puzanje utječe na naprezanje u luku. Za proračun u plastičnom području razlikuju se približna i točnija teorija. Kad se računa djelovanje kritičnih tereta, plastične deformacije ne utječu na izvijanje, jer ono nije ovisno o vremenu.



Sl. 127. Početno i deformirano stanje luka



Sl. 128. Opterećenje $g(x)$, moment M_x i potporna linija $z(x)$

Os luka je linija koja spaja težišta presjeka luka. Optimalna os luka poklapa se s potpornom linijom. Ta se linija proračunava uz pretpostavku da je greda ili konzola statički određena.

Moment stalnog opterećenja u presjeku x (sl. 128) iznosi

$$M(x) = M_0 + H_g z(x), \quad (46)$$

gdje je M_0 moment proste grede, H_g horizontalna komponenta reakcije, a z ordinata luka. Pri poklapanju osi luka s potpornom linijom dobiva se ordinata potporne linije iz relacije

$$z(x) = -\frac{M_0(x)}{H_g}. \quad (47)$$

Maksimalna je horizontalna reakcija kad je $z\left(\frac{1}{2}\right) = f$, $M_0\left(\frac{1}{2}\right) = M_{0\max}$ pa je

$$H_{g\max} = -\frac{M_{0\max}}{f}, \quad (48)$$

gdje je f strelica luka.

Za stalno kontinuirano opterećenje izveo je Legay jednadžbu osi luka. Ordinate osi luka mogu se odrediti pomoću tablice A. Strassnera, F. Köglera i drugih. Radi boljeg izjednačenja maksimalnih i minimalnih momenata koji nastaju djelovanjem pokretnog opterećenja, stezanja i razmicanja upornjaka, katkada se odabire oblik luka koji se razlikuje od potporne linije. To obično nije svrsishodno, jer se time samo premještaju nejednako raspodijeljeni momenti od tjemena na obližnje presjeke na osmini raspona, što proizlazi iz točnije teorije.

Linija momenta inercije presjeka luka je optimalna kad se linija momenta otpora W_x poklapa s linijom maksimalnih momenata. Tada su, naime, naprezanja u svakom presjeku približno jednaka. Iz tog uvjeta dobiva se izraz za liniju momenta inercije

$$J_x = J_s \sqrt{\frac{M_s}{M_x}}, \quad (49)$$

gdje je J_x moment inercije u presjeku x , J_s moment inercije u tjemenu luka, M_s moment savijanja u tjemenu, a M_x moment savijanja u presjeku x . Da se olakša integracija za poprečno statički neodređene sustave, A. Ritter je izveo za upeti luk sljedeći izraz za liniju momenata inercije:

$$\frac{J_s}{J_z \cos \varphi_z} = 1 - (1 - n)\xi, \quad (50)$$

gdje je J_s moment inercije u tjemenu luka, J_z moment inercije u presjeku koji odgovara ordinati z , φ_z nagib tangente na luk u točki z prema horizontali, n koeficijent ovisan o omjeru stalnog i pokretnog opterećenja (za cestovne mostove $n = 0,3$,

a za željezničke mostove $n = 0,20 \dots 0,25$), dok je ξ omjer između udaljenosti točke z od tjemena luka i polovice raspona luka.

Osim toga, postoje prijedlozi i drugih autora (npr. R. Valette) za određivanje linije momenata luka.

Upeti luk. To je tri puta statički neodređen sustav (sl. 129). Prikladan je kad je omjer strelice f i duljine l veći od $1/6 \dots 1/7$. Kad je, naime, taj omjer manji, pojavljuju se veliki dodatni momenti zbog elastičnog skraćenja luka, stezanja, razmicanja oslonaca i promjene temperature.



Sl. 129. Upeti luk

Jednadžbe elastičnosti za upeti luk u matričnom obliku glase

$$\begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{10} \\ \delta_{20} \\ \delta_{30} \end{bmatrix} \quad (51)$$

u kojima su δ pomaci, a X sile u elastičnom težištu. Opći je izraz za pomake

$$\delta_{ik} = \int_s \frac{M_i M_k}{EJ(x)} ds + \int_s \frac{N_i N_k}{EF(x)} ds, \quad (52)$$

gdje su M_i i M_k momenti savijanja, N_i i N_k vertikalne sile u promatranim točkama, E modul elastičnosti, J moment inercije, F presjek, a ds element luka. Primjenom elastičnog težišta dobivaju se tri međusobno neovisne jednadžbe:

$$X_1 \delta_{11} + \delta_{10} = 0, \quad X_2 \delta_{22} + \delta_{20} = 0, \quad X_3 \delta_{33} + \delta_{30} = 0, \quad (53)$$

a elastično težište određuje se iz uvjeta $\delta_{12} = \delta_{21} = \delta_{23} = \delta_{32} = \delta_{13} = \delta_{31} = 0$.

Djelovanje vlastite težine, stezanja, razmicanja oslonaca i promjene temperature. Da se postigne veća računaska točnost, računa se pri proračunu luka za spomenuta opterećenja da je potporna linija statički određen sustav, pa stoga nema momenata. Smanjenje horizontalne komponente (H_c) zbog stlačivanja luka iznosi

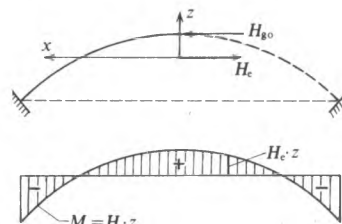
$$H_c = -\frac{\delta_{10}}{\delta_{11}} = -H_{g0} \frac{\int ds''}{\frac{F_c}{J_c} \cos^2 \beta \int z^2 ds' + \int \cos^2 \varphi ds''}, \quad (54)$$

gdje je H_{g0} horizontalna komponenta reakcije od stalnog opterećenja, J_c moment tromosti u odabranom presjeku, F_c površina odabranog presjeka, ds razmak promatranih presjeka, z ordinata težišta promatranih presjeka, φ nagib tangente na luk u promatranom presjeku, a β nagib ordinate kroz tjeme luka (kad je luk simetričan, $\beta = 0$), dok su

$$ds' = \frac{J_c}{J} ds, \quad ds'' = \frac{F_c}{F} ds, \quad (55)$$

gdje su J i F moment inercije i površina presjeka promatranog presjeka.

Sila H_c djeluje u elastičnom težištu, pa stoga momenti od vlastite težine izgledaju kao momenti upete grede (sl. 130). Uz pretpostavku da je luk paraboličan za omjer $f/l = 1/6$ dobiva se $H_c \approx -0,005 H_{g0}$. To znači da se $\sim 0,5\%$ vlastite težine



Sl. 130. Momentna linija sile H_c

prenosi grednim, a ostatak lučnim djelovanjem. Kad je manja strelica f , dobiva se veća vrijednost za H_e . Može se, dakle, zaključiti da nisu pogodni položiti upeti lukovi.

Pomak δ_{a0} zbog stezanja betona, promjene temperature i razmicanja upornjaka iznosi

$$\delta_{a0} = (w_s \pm w_r) Tl + \Delta l, \quad (56)$$

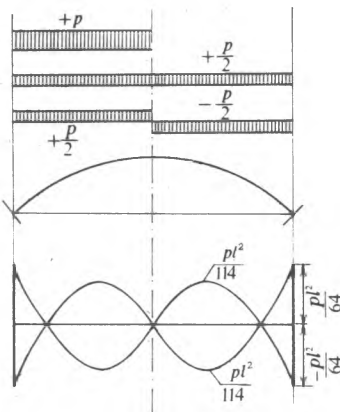
gdje je w_s koeficijent stezanja betona, w_r koeficijent rastezanja, odnosno stezanje betona pri promjeni temperature T , l raspon luka, a Δl razmicanje upornjaka. Prema tome, smanjenje je horizontalne komponente reakcije luka

$$H_s \pm H_T + H_w = -EF_c \frac{(w_s \pm w_r) Tl + \Delta l}{\frac{F_c}{J_c} \int z^2 ds' + \int \cos^2 \varphi ds''} \quad (57)$$

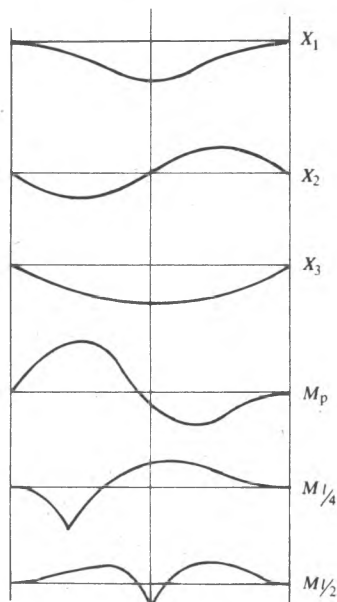
pa su dodatni momenti

$$M = -(H_e + H_s \pm H_T + H_w) z \cos \beta. \quad (58)$$

Djelovanje pokretnog opterećenja. Približan tok momenata u luku djelovanjem pokretnog opterećenja dobit će se kad se opteret polovica luka jednoliko raspodijeljenim opterećenjem p . To opterećenje zamijenit će se simetričnim $+p/2$ i antisimetričnim $\pm p$ (sl. 131). Od simetričnog opterećenja nema momenata u paraboličnom luku. Antisimetrično opterećenje ne proizvodi horizontalnu reakciju. Zbog toga nastali momenti odgovaraju onima za jednostavno upetu gredu s rasponom $l/2$. U tjemenu moment iznosi $\sim pl^2/64$, a u peti $\sim pl^2/114$. Točne su vrijednosti $pl^2/59$ i $pl^2/110$. Za proračun momenata od po-



Sl. 131. Momenti zbog antisimetričnog opterećenja

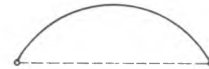


Sl. 132. Utjecajne linije

kretnog opterećenja upotrebljavaju se utjecajne linije statički prekoprobnih veličina X_1 , X_2 i X_3 . One se određuju iz matrice (51). Pri tom se upotrebljava Maxwellov poučak, te se članovi δ_{10} , δ_{20} i δ_{30} zamjenjuju sa δ_{01} , δ_{02} i δ_{03} . Oni predstavljaju linije progiba grede opterećene momentima $X_1 = 1$, $X_2 = 1$ i $X_3 = 1$. Utjecajne linije (sl. 132) dobiju se dijeljenjem δ_{01} , δ_{02} i δ_{03} sa δ_{11} , δ_{22} i δ_{33} , a utjecajne linije za momente dobiju se iz izraza

$$M = M_0 + X_1 M_1 + X_2 M_2 + X_3 M_3. \quad (59)$$

Dvozgladni luk (sl. 133) je jedanput statički neodređen sustav. Priklađan je kad je omjer strelice f i raspona l manji od $1/6 \dots 1/7$ i veći od $1/10 \dots 1/12$. Mostovi s dvozgladnim lukom kompliciraniji su u konstruktivnom pogledu zbog zglobova.



Sl. 133. Dvozgladni luk

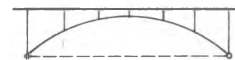
Osim toga, izradbe zglobova i njihovo održavanje poskupljuje građevinu. Kad je kolnik dolje i kad je on upušten, horizontalnu akciju preuzima zatega, a gornji i donji pojas međusobno su spojeni vješaljkama. Budući da se ne mijenjaju razmaci između vlačnog i tlačnog pojasa, nema momenata zbog deformacija i, prema tome, ne postoji ni opasnost od izvijanja u ravnini luka. Proračun momenata savijanja od vlastite težine polazi od statički određenog luka, jer je tada veća računaska točnost.

Dvozgladni luk s kolnikom iznad luka (sl. 134) skraćuje se zbog pritiska. Jednadžba elastičnosti glasi

$$\delta_{10} + H_e \delta_{11} = 0, \quad (60)$$

gdje je δ_{10} pomak od stalnog opterećenja u smjeru sile H_e , a δ_{11} pomak djelovanjem sile $H_e = 1$. Smanjenje sile H_e zbog skraćivanja luka iznosi

$$H_e = -\frac{\delta_{10}}{\delta_{11}} = -H_{e0} \frac{\int ds''}{\frac{F_c}{J_c} \int z^2 ds' + \int \cos^2 \varphi ds''}. \quad (61)$$



Sl. 134. Dvozgladni luk s kolnikom iznad luka

Značenje oznaka navedeno je uz relaciju (54). Za luk s omjerom $f/l = 10$ dobiva se $H_e = -0,005 H_{e0}$, što znači da 0,5% vlastite težine prenosi grednim djelovanjem. Ako se, međutim, tome doda djelovanje puzanja, promjene temperature i razmicanja oslonaca, nastaju momenti $M_e = H_e z$ koji imaju oblik potporne linije. Pomaci zbog spomenutih utjecaja određuju se prema relaciji (56), pa je smanjenje horizontalne komponente reakcije luka

$$H_s \pm H_T + H_w = -EF_c \frac{(w_s \pm w_r) Tl + \Delta l}{\frac{F_c}{J_c} \int z^2 ds' + \int \cos^2 \varphi ds''}. \quad (62)$$

Zbog smanjenja te komponente nastaju dodatni gredni momenti

$$M = (H_e + H_s \pm H_T + H_w) z. \quad (63)$$

Dvozgladni luk sa zategom i s upuštenim kolnikom ili kolnikom ispod luka. Horizontalna se akcija prihvaća zategom, pa nema djelovanja razmicanja oslonaca. Sila H_e , međutim, postaje veća jer se skraćanju luka pribraja produljenje zatega, pa se djelovanje stalnog opterećenja izračunava iz relacije

$$H_e = -H_{e0} \frac{\int ds'' + kl}{\frac{F_c}{J_c} \int z^2 ds' + \int \cos^2 \varphi ds'' + kl}, \quad (64)$$

gdje je

$$k = \frac{EF_c}{E_c F_c} \quad (65)$$

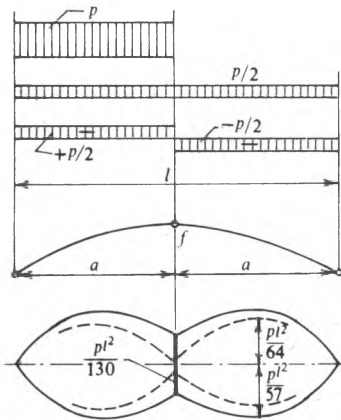
U relaciji (65) veličine s indeksom e odnose se na zategu. Za omjer $f/l = 1/6$ i čeličnu zategu ($\sigma_e = 21 \text{ kN/cm}^2$) dobiva se da je $H_e \approx -0,024 H_{g0}$, što je za oko pet puta veće nego za dvo-zglobni luk s kolnikom iznad luka. Zbog stezanja betona i promjene temperature pojavljuju se dodatne horizontalne sile

$$H_s \pm H_T = -E J_c \frac{(w_s \pm w) T l}{F_c \int z^2 ds' + \int \cos^2 \varphi ds'' + k l} \quad (66)$$

i dodatni momenti

$$M = (H_c + H_s \pm H_T) z. \quad (67)$$

Djelovanje pokretnog opterećenja. To se djelovanje određuje pomoću utjecajnih linija. Tako se dobiju momenti, koji iznose za paraboloidne lukove u tjemenu $M = \pm pl^2/130$, a u četvrtini raspona $M = \pm pl^2/64$ (sl. 135). Pri proračunu utjecajnih linija



Sl. 135. Momentna linija od antisimetričnog opterećenja $\pm p/2$

polazi se od statički određene grede, a ne od statički određene luka, kako se računa utjecaj stalne težine. Utjecajna je linija za nepoznatu horizontalnu reakciju X_1

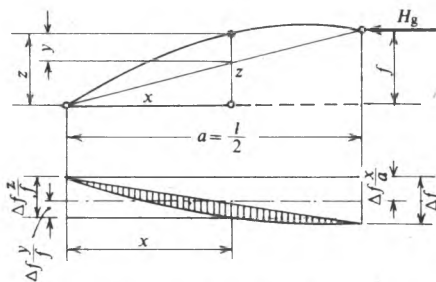
$$X_1 = \frac{\delta_{10}}{\delta_{11}} = -\frac{\delta_{01}}{\delta_{11}} \quad (68)$$

To znači da se utjecajna linija X_1 dobiva kao progibna linija za $X_1 = 1$ podijeljena sa δ_{11} . Korisno je računati s momentima jezgre, jer se tako eliminira utjecaj pripadnih normalnih sila.

Trozglobni luk statički je određen sustav. Prikladan je za vrlo spljoštene lukove koji imaju omjer $f/l = 1/10 \dots 1/12$.

Djelovanjem stalnog opterećenja, stezanja, promjene temperature, razmicanja upornjaka i puzanja os se luka deformira, zbog toga se tjeme spušta, te nastaju dodatni momenti u luku.

Svako horizontalno skraćivanje polovice luka daje za a/f veće spuštanje tjemena luka, gdje je a polovica raspona, a f strelica luka (sl. 136). Tjeme se luka spušta zbog izmicanja



Sl. 136. Momentna linija zbog djelovanja Δf

oslonaca Δl za

$$\Delta f_w = \frac{a \Delta l}{2f}, \quad (69)$$

zbog promjene temperature T za

$$\Delta f_T = \pm w T \frac{a^2 + f^2}{f}, \quad (70)$$

zbog stezanja betona za

$$\Delta f_s = w_s T \frac{a^2 + f^2}{f}, \quad (71)$$

a zbog skraćivanja luka za

$$\Delta f_E = \frac{H_g}{E F_c} \left[\frac{a}{f} \int \frac{F_c}{F(x) \cos \varphi} dx + \int \frac{F_c}{F(x) \cos \varphi} dy \right]. \quad (72)$$

Ukupno spuštanje tjemena luka iznosi

$$\Delta f = \Delta f_w + \Delta f_T + \Delta f_s + \Delta f_E, \quad (73)$$

a moment

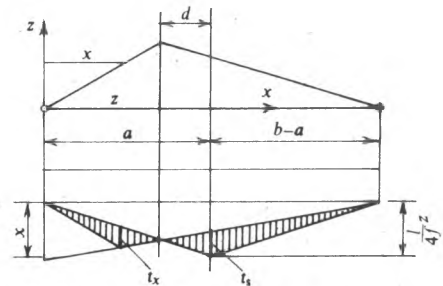
$$M = M_w + M_T + M_s + M_E = H_g \frac{y}{s} \Delta f. \quad (74)$$

Iz toga proizlazi da se s povećanjem ordinate y povećavaju i momenti. Dodatni se momenti smanjuju nadvišenjem luka pa je nakon spuštanja os luka jednaka potpornoj liniji. Spuštanje je luka, međutim, zbog puzanja vremenska funkcija, pa se ukupno spuštanje tjemena može prikazati funkcijom

$$\Delta f(t) = \Delta f_w + \Delta f_T + \Delta f_s \frac{\varphi(t)}{\varphi_m} + \Delta f_E [1 + \varphi(t)], \quad (75)$$

gdje je $\varphi(t)$ koeficijent puzanja u trenutku t . Očigledno je da je nemoguće oblikom luka koji je različit od potporne linije potpuno ukloniti momente koji nastaju spuštanjem tjemena. Uz malu sigurnost prema izvijanju bitno je da se poduzmu mjere da os luka zadrži oblik potporne linije. Razlog je u tome, što spomenuti momenti čine, kad se pređe iz približne teorije na strogu, deformacije koje dalje povećavaju momente.

Djelovanje pokretnog opterećenja izračunava se pomoću utjecajnih linija. U presjeku x (sl. 137) utjecajne linije se sastoje od



Sl. 137. Utjecajna linija momenta jezgre u peti luka

utjecajnih linija proste grede i djelovanja sile H . Za jednoliko raspodijeljeno opterećenje ekstremni momenti iznose:

$$M_{\max} = \frac{p l^2}{8} \left(\frac{2}{\eta + \xi} - 1 \right) \xi^2, \quad (76)$$

$$M_{\min} = -\frac{p l^2}{8} \eta \frac{\eta - \xi}{\eta + \xi}, \quad (77)$$

gdje su

$$\xi = 2 \frac{x}{l}, \quad \eta = \frac{z}{f}. \quad (78)$$

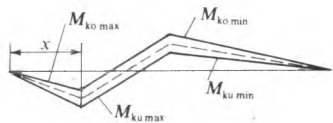
Momenti jezgre $M_{k0 \min}$ i $M_{k0 \max}$ mjerodavni su za proračun tlačnih naprezanja, a momenti $M_{k0 \max}$ i $M_{k0 \min}$ za proračun vlačnih naprezanja. Budući da momenti plohe mjerodavni za ta naprezanja nisu jednaki (sl. 138), oni se mogu izjednačiti ako se

potporna linija za vlastitu težinu podigne ili spusti za

$$\Delta y = \frac{M_{ku \max} + M_{ko \min}}{2H_g} \quad (79a)$$

ili za

$$\Delta y = \frac{M_{ko \max} + M_{ku \min}}{2H_g} \quad (79b)$$



Sl. 138. Usporedba utjecajnih linija momenata u gornjoj i donjoj jezgri, te momenata u osi luka

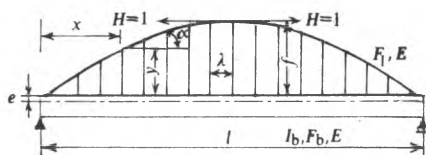
Kad su svodovi položiti i s velikim rasponima, tlačna su naprezanja velika. Da bi se ta naprezanja smanjila, provodi se opisano izjednačenje. Takav svod naziva se Engesserovim svodom. Kad su svodovi s malim rasponom ili s velikom strelicom, naprezanja su zbog vlastite težine mala, pa je potrebno izjednačiti vlačna naprezanja. Takav se svod naziva vlačnim svodom.

Jednozglobni svod (sl. 139) ne preporuča se za gradnju, jer točnija teorija pokazuje da zbog deformacije tjemena i četvrtine luka nastaju vrlo nepovoljni dodatni momenti.



Sl. 139. Jednozglobni luk

Langerova greda sastoji se od krute grede ojačane vitkim lukom (sl. 140). Sustav je unutrašnje grede jedanput statički



Utjec. linija za H



Utjec. linija $M_x = M_x^0 - H$



Sl. 140. Utjecajne linije za H i M_x na Langerovoj gredi

neodređen. Računa se s prekobrojnomo silom H, koja se određuje iz relacije

$$H = - \frac{l^2 \left[\frac{1}{2} (\xi - \xi^2) + \frac{f}{3} (\xi - 2\xi^3 + \xi^4) \right]}{l \left(e^2 - \frac{2}{3} f e + \frac{1}{5} f^2 \right) + \frac{J_b l}{F_b} + \frac{E_b'' J_b}{E_b F_a} \sum \sec^2 \alpha_m} \quad (80)$$

gdje je l raspon luka, $\xi = \frac{x}{l}$, f strelica luka, e ekscentričnost

priključka luka na težište grede za ukrućenje, J_b moment inercije grede za ukrućenje, F_b površina presjeka grede za ukrućenje, F_a površina presjeka luka, E_b' modul elastičnosti betona luka (tlak), E_b'' modul elastičnosti betona grede (vlak), a α_m

nagib tangente na luk u promatranom presjeku. Momenti savijanja u gredi iznose:

$$\text{ležaj} \quad M_1 = -H e, \quad (81a)$$

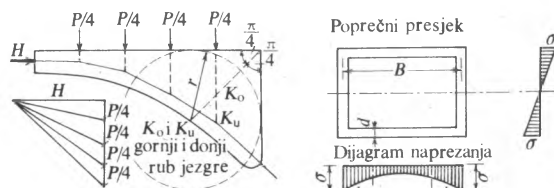
$$\text{presjek } x \quad M_x = M_{x0} - H(y + e), \quad (81b)$$

gdje je M_{x0} moment proste grede, a y vertikalna udaljenost od presjeka luka do linije djelovanja sile H. Sila je u vješaljci

$$V_m = H \frac{8f\lambda}{l^2} \quad (82)$$

gdje je λ razmak vješaljki. Prema tome, sile su u svim vješalkama jednake.

Lučni zidovi izvode se samo kao statički određeni sustavi s tri zgloba, jer su u statički neodređenim sustavima znatni utjecaji zbog promjene temperature, skupljanja betona i razmičanja upornjaka (zbog velike krutosti konstrukcije). Sile i momenti u presjecima računaju se kao za trozglobni luk. Naprezanja se pak računaju s nekim ograničenjima. H. Bay je ispitivao takve konstrukcije fotoelastičnim metodama i utvrdio da za njih ne vrijedi Navierova hipoteza o ravnim presjecima. Budući da uglovi ne sudjeluju u radu presjeka, Bay preporučuje da se u proračun uzme samo dio presjeka omeđen krugom (sl. 141).



Sl. 141. Djelovanje lučnog zida prema Bayu

Puzanje je plastični proces tokom kojega se beton skraćuje kad na njega duže vremena djeluje stalno opterećenje. Na temelju pokusa ustanovljeno je da za puzanje vrijedi Hookeov zakon. Prema tome, deformacije zbog puzanja proporcionalne su trajnim naprezanjima. Izraz za sporu deformaciju glasi

$$\epsilon_k = \frac{\sigma_b}{E_b} \varphi_t, \quad (83)$$

gdje je σ_b naprezanje betona, E_b modul elastičnosti betona, φ_t koeficijent puzanja u trenutku t. Za beton vrijedi

$$\varphi_t = \varphi_0 K_1 K_2, \quad (84)$$

gdje je φ_0 koeficijent puzanja za $t = \infty$, K_1 utjecaj stupnja otvrdjivanja na puzanje, a K_2 utjecaj vremenskog toka puzanja i stezanja. Pri računu puzanja uzima se radi jednostavnosti da je E_b konstantno. Za smanjenje sile H zbog elastičnog skraćivanja betona, stezanja i razmičanja oslonaca vrijede sljedeće relacije za upeti i dvozglozni luk:

$$H_c = - \frac{H_{g0}}{\delta_{11}} \int \frac{ds}{EF}, \quad H_s = - \frac{w_s T l}{\delta_{11}}, \quad H_w = - \frac{\Delta l}{\delta_{11}}. \quad (85)$$

Zbog puzanja luk se skraćuje, i zato nastaje horizontalna reakcija $H(t)$ kao funkcija vremena t. Da se odredi ta reakcija, treba poći od sljedeće diferencijalne jednadžbe, koja se dobiva iz uvjeta da je za svaki vremenski razmak t promjena raspona luka jednaka nuli:

$$\frac{w_s T l}{\varphi_u} \frac{d\varphi(t)}{dt} + H_{g0} \frac{d\varphi(t)}{dt} \int \frac{ds}{EF} + (H_c + H_w) \delta_{11} \frac{d\varphi(t)}{dt} + H(t) \delta_{11} \frac{d\varphi(t)}{dt} + \frac{dH(t)}{dt} \delta_{11} = 0. \quad (86)$$

Prvi član prikazuje utjecaj stezanja betona, a jer je stezanje afina krivulja puzanja, taj je član pomnožen sa $\frac{d\varphi(t)}{dt}$. Drugi

član predstavlja skraćenje raspona zbog centričnog puzanja, a dobiva se množenjem elastičnog skraćjenja sa $\frac{d\varphi(t)}{dt}$. Treći član je elastična promjena raspona H_e i H_w za $t = 0$ pomnožena sa $\frac{d\varphi(t)}{dt}$ da se dobije plastična promjena. Reakcija $H(t)$ je veličina koju treba odrediti, a ona proizvodi elastičnu deformaciju $H(t)\delta_{11}$. Da se uzme u obzir utjecaj vremena, mora se množiti s $\frac{d\varphi(t)}{dt}$. S porastom $H(t)$ u vremenskom intervalu dt

za $dH(t)$ nastaje elastična deformacija $\frac{dH(t)}{dt}\delta_{11}$. Budući da je

$$H_e\delta_{11} = -H_{g0}\int \frac{ds}{EF} \quad (87a)$$

$$w_s Tl = -H_s\delta_{11}, \quad (87b)$$

diferencijalna jednadžba (86) postaje jednostavnija, pa je

$$\frac{dH(t)}{dt} + H(t)\frac{d\varphi(t)}{dt} + \left(H_w - \frac{H_s}{\varphi_u}\right)\frac{d\varphi(t)}{dt} = 0. \quad (88)$$

Rješenjem diferencijalne jednadžbe dobiva se

$$H(t) = \left(\frac{H_s}{\varphi_0} - H_w\right)(1 - e^{-\varphi(t)}). \quad (89)$$

U rješenju se ne pojavljuje sila H_w , pa, prema tome, puzanje nema utjecaja na silu H .

Stezanje se može odrediti iz relacije

$$H_s(t) = \frac{H_s}{\varphi_u}(1 - e^{-\varphi(t)}). \quad (90)$$

$H_s(t)$ postiže najveću vrijednost kad je $t = t_u$, odnosno $\varphi(t) = \varphi_u = m$. Koeficijent m može doseći vrijednost H , tj. plastične deformacije mogu s vremenom postati i četiri puta veće. Sila $H_s(t)$ može se prikazati kao funkcija koeficijenta m , i to pomoću faktora $k_s(m)$ kojim treba množiti stacionarnu vrijednost sile H_s . Faktor $k_s(m)$ ima sljedeće vrijednosti:

m	0	1	2	3	4
$k_s(m)$	1,000	0,632	0,433	0,317	0,245.

Prema tome, puzanje veoma smanjuje silu i moment koji nastaju zbog stezanja.

Razmicanje oslonaca može se odrediti iz relacije

$$H_w(t) = H_w e^{-\varphi(t)}. \quad (91)$$

Uvođenjem koeficijenta m može se $H_w(t)$ prikazati kao funkcija tog koeficijenta, i to pomoću faktora $k_w(m)$ koji ima analogno značenje kao faktor $k_s(m)$. Faktor $k_w(m)$ ima sljedeće vrijednosti:

m	0	1	2	3	4
$k_w(m)$	1,000	0,368	0,135	0,050	0,018.

Prema tome, momenti koji nastupaju razmicanjem oslonaca skoro potpuno iščezavaju kad je $m = 4$.

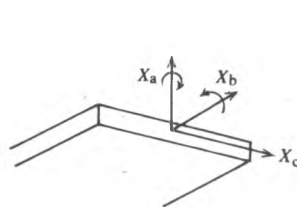
Za dvoglobni luk sa zategom dobiva se kao rješenje diferencijalne jednadžbe izraz

$$H(t) = \left(\frac{H_s}{\mu\varphi_0} - H_{cz}\right)(1 - e^{-\mu\varphi(t)}), \quad (92)$$

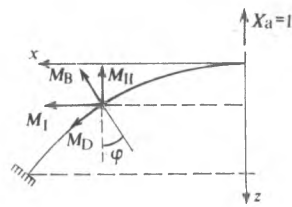
gdje je H_{cz} horizontalni potisak zbog produženja zatege. Iz (92) vidi se da se koeficijent puzanja tek neznatno mijenja.

Djelovanje sila okomito na os mosta. Te sile mogu nastati djelovanjem vjetera, centrifugalnih sila, horizontalnih udaraca na tračnice i seizmičkih sila. Analizirat će se samo djelovanje vjetera, jer je za ostale sile jednaka osnova proračuna. Poprečni presjek luka može biti pun ili šupalj s velikom torzijskom krutošću, sastavljen od dva ili više lukova s malom torzijskom krutošću.

Luk s velikom torzijskom krutošću. Pretpostavlja se simetrično opterećenje. Ako se luk presiječe u sredini, dobivaju se tri statički neodređene veličine: X_a , X_b i X_c (sl. 142). Zbog simetrije luka torzijski je moment $X_b = 0$, što vrijedi i za poprečnu silu, pa je $H_e = 0$. Ostaje moment savijanja $X_a = \delta_{a0}/\delta_{11}$.



Sl. 142. Statički neodređene veličine



Sl. 143. Moment savijanja M_B i torzijski moment M_D

Najprije se proračunavaju M_B^0 i torzijski momenti M_D^0 na statički određenom sustavu, te se određuju u pojedinim presjecima momenti M_I^0 i M_{II}^0 od sila vjetera (sl. 143). Dobiva se

$$M_B^0 = M_I^0 \sin \varphi + M_{II}^0 \cos \varphi, \quad (93)$$

$$M_D^0 = M_I^0 \cos \varphi + M_{II}^0 \sin \varphi, \quad (94)$$

$$X_a = -\frac{\int M_B^0 \cos \varphi \frac{ds}{FJ_H} - \int M_D^0 \sin \varphi \frac{ds}{GJ_D}}{\int \cos^2 \varphi \frac{ds}{EJ_H} + \int \sin^2 \varphi \frac{ds}{GJ_D}}. \quad (95)$$

Proračun za vjetar nije potreban ako je omjer širine i raspona svoda veći od 1/10.

Luk s malom torzijskom krutošću. Obično se presjek sastoji od dva luka međusobno spojena vjetrovnom spregom ili prečkama. Iz uvjeta ravnoteže sila dobiva se

$$N = \frac{Q}{b}, \quad (96)$$

gdje je Q poprečna sila i b razmak lukova. Ta se sila rastavlja u okomitu i horizontalnu komponentu:

$$dH = \frac{Q}{b} dx, \quad dV = \frac{Q}{b} \tan \varphi dx. \quad (97)$$

Pomoću tih sila mogu se izračunati momenti savijanja u ravnini nosača. Na drugi luk djeluju sile s protivnim predznakom.

Konstrukcija kolnika iznad luka. Takvim smještanjem kolnika smanjuju se deformacije luka, pa prema tome luk i kolnik zajedno sudjeluju u prenošenju opterećenja.

Ispitivanja tih djelovanja pokazala su da izmjereni progibi iznose prosječno 60% od proračunskih, a naprezanja 50...75% od proračunskih. Što je kruća konstrukcija kolnika, to je veći njezin utjecaj na luk. Većinom se grade vrlo kruti lukovi i vitke kolovozne konstrukcije (sl. 114), pa je tada utjecaj kolnika mali. Međutim, može se izvesti vitki luk i vrlo kruta kolovozna



Sl. 144. Kruti luk i vitka kolovozna konstrukcija



Sl. 145. Vitki luk i kruta kolovozna konstrukcija

konstrukcija (sl. 145). Tada kolovozna konstrukcija preuzima momente, a luk osne sile. Kad su luk i kolovozna konstrukcija približno iste krutosti, nastaje složeno stanje s mnogo statički neodređenih veličina, što ovisi o broju stupića. Prije su se izbjegavala takva rješenja zbog opsežnosti proračuna. Danas je takav proračun moguć upotrebom elektroničkog računala. Sudjelovanje nosača kolnika u radu luka prednost je za luk, ali mana za kolovozne nosače i stupove, koji preuzimaju dodatne momente.

Stabilnost lučnih mostova potrebno je utvrditi, osobito kad su lukovi vitki. Stabilnost se određuje proračunom ravnog štapa iste krutosti. Duljina izvijanja toga štapa iznosi $l_k = l$, gdje je l raspon luka. Kritična sila iznosi

$$N_{kr} = \frac{H_{kr}}{\cos \varphi} = \frac{\pi^2 EJ_{sr}}{(\alpha l)^2}. \quad (98)$$

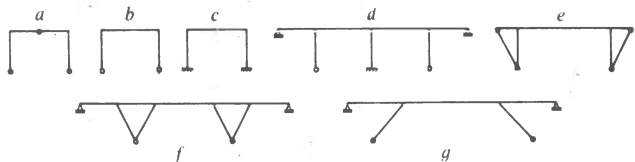
Za lukove s tjemanim zglobovima mjerodavno je simetrično opterećenje (simetrično izvijanje), a za ostale lukove i svodove antisimetrično izvijanje. To je izvijanje mjerodavno i za svodove s tjemanim zglobovima kad imaju visoku strelicu. Točan proračun izvijanja utvrđuje se prema točnijoj teoriji. Stabilnost u poprečnom smjeru treba ispitivati za uske svodove i rebra. Tu se može za omjer $f/l \leq 0,25$ uzeti ravni štap, kojemu je duljina jednaka rasponu l , a normalna sila jednaka H . Proračunata armatura ne smije se smanjiti ni u jednom presjeku luka. Za postotak armature $\mu \geq 0,8\%$, prema DIN 1045, te za $f/l = 0,1 \dots 0,5$ vrijednost α u (98) iznosi: upeti luk $0,356 \dots 0,545$, jednozglobni luk $0,478 \dots 0,593$, dvozglobovi luk $0,518 \dots 0,89$ i trozglobovi luk $0,584 \dots 0,890$. Sigurnost u odnosu na izvijanje za armirani beton sa $\mu_0 \leq 0,8\%$ jest $v = 1,8$, a za $\mu_0 < 0,8\%$ iznosi $v = 3,0 \dots 1,56 \mu_0$.

Prilagodavanje naprezanja. Postoje različiti postupci za prilagodavanje naprezanja, i to: a) postavljanje osi luka tako da odstupa od potporne linije, b) ugradnja privremenih zglobova i c) upotreba hidrauličkih dizalica, koje se stavljaju u tjeme luka, osim kad je luk sa zategom, pa se tada dizalice stavljaju na jednom kraju zatege. Naprezanje se prilagođuje radi što boljeg izjednačavanja maksimalnih i minimalnih momenata koji nastaju djelovanjem pokretnog tereta, stezanja i razmicanja upornjaka. Stroga teorija deformacija pokazuje da odmicanje osi luka od potporne linije ne donosi nikakve prednosti. Prema tome je krivo mišljenje da se time isključuju momenti. Oni će se, naime, samo premjestiti od tjemena prema susjednim presjecima na osmini raspona. Osim toga, nastaju novi momenti zbog elastičnih i plastičnih deformacija. Freyssinet je 1908. prvi primijenio hidraulične dizalice radi otpuštanja skele. Zbog pokretnog opterećenja pojavljuju se u parabolničnim lukovima po apsolutnoj vrijednosti jednaki maksimalni i minimalni momenti. Međutim, veći momenti mogu nastati djelovanjem sila H_c , H_s i H_T . U tjemenu npr. vladaju veliki pozitivni i mali negativni momenti, a u peti luka je obrnuto, što traži znatno pojačanje luka. Budući da su stezanje i puzanje vremenske pojave koje djeluju duže vremena, ne mogu se takvi momenti ukloniti primjenom dizalica u trenutku $t = 0$.

Proračun stupova i upornjaka lučnih mostova. Oni se proračunavaju pomoću utjecajnih linija momenata jezgre za osnovne sile (vlastita težina, akcija stalne težine nosive konstrukcije, akcija pokretnog tereta, tlak zemlje, hidrostatski tlak), za dopunske sile (kočenje, vjetar, temperatura, led) i za osobite sile (potres). Osim dokaza o naprezanju potrebno je dokazati stabilnost s obzirom na prevrtanje i klizanje.

OSTALE VRSTE MASIVNIH MOSTOVA

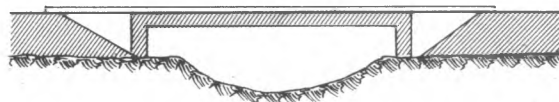
Okrvni mostovi nastaju krutim povezivanjem nosive konstrukcije sa stupovima i eventualno s upornjacima (sl. 146).



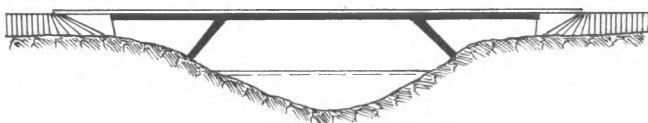
Sl. 146. Statički sustavi okvira. a trozglobovi, b dvozglobovi, c upeti, d kontinuirani, e i f sa V-stupovima, g s razuporom

U statičkom pogledu nastaju na njihovu sastavu negativni momenti koji smanjuju pozitivne. Spomenuti momenti ovise o omjeru krutosti greda i stupova. Takvim mostovima može se postići najmanja konstruktivna visina. Presjeci su im isti kao u grednih mostova. Karakteristika je takvih sustava da osim momenta savijanja djeluje i normalna sila. Ako je tlo dobro, treba primijeniti okvire s upetim stupovima. Ako tlo nije povoljno, mogu se izvesti stupovi sa zglobovima, dvozglobovi ili trozglobovi okviri. Do raspona od 15 m primjenjuje se meka armatura, a za veće raspone treba okvir izvesti od prednapregnutog betona. Zanimljive su razuporne konstrukcije s rasponima i do 170 m.

Okrvni mostovi mogu se izvesti sa jednim (sl. 147) i s više otvora. Stupovi se izvedu vertikalno, koso ili u obliku slova V. Konstrukcija s kosim stupovima naziva se most s razuporom (sl. 148). To je moderna konstrukcija s malim utroškom materijala. Izvodi se kad je tlo dobre kvalitete. Jedno vrijeme su bile u modi konstrukcije sa V-stupovima (sl. 149). Visoki vijadukti grade se katkada u srednjem dijelu kao okviri radi preuzimanja horizontalnih sila, a u ostalim dijelovima kao kontinuirani nosači (sl. 150).



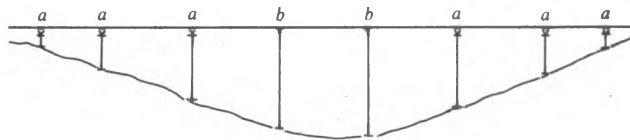
Sl. 147. Okrvni most s jednim rasponom



Sl. 148. Most s razuporom

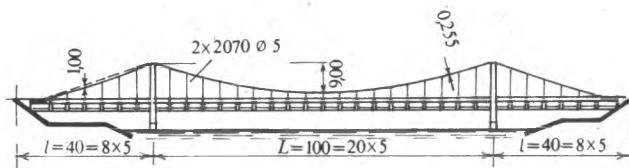


Sl. 149. Most sa V-stupovima



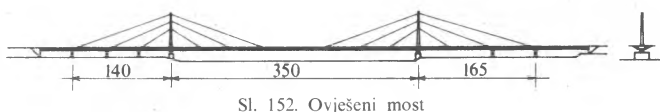
Sl. 150. Vijadukt. a pokretni ležaj, b nepokretni ležaj

Viseći mostovi. Osnovni su elementi visećeg mosta: kabeli, piloni i nosač za ukrućenje. Bitna je razlika između visećih i ovješnih mostova u proračunu, te u položaju kabela. Proračun visećih mostova temelji se na točnijoj teoriji. Viseći se kabeli sastoje obično od dva glavna nosiva kabela (može biti i jedan), koji idu uzduž čitavog mosta. Na njih je preko vješaljka ovješni nosač za ukrućenje. Konstrukcije kabela, pilona i grede za ukrućenje principijelno su jednake za viseće i ovještene mostove. Mogu se izgraditi takvi mostovi sa jednim ili dva pilona, koji mogu biti vertikalni ili nagnuti. Nekoliko mostova takvog tipa izgrađeno je u Belgiji (sl. 151) i Norveškoj. U praksi dosad nisu naišli na veću primjenu.



Sl. 151. Viseći most s armiranobetonskom kolovoznom konstrukcijom

Ovješeni mostovi. Za velike raspone, za koje gredni mostovi nisu više ekonomični, sve više se primjenjuju ovješeni mostovi, tj. mostovi s ravnim kabelima koji nose kolovozne konstrukcije. Sastoje se od kabela, pilona i kolovozne konstrukcije. Kabeli mogu biti od paralelnih ili spiralno pletenih žica, a zaštićeni su premazima ili plastičnim materijalima s injekcijskom masom ili betonom. Piloni su od armiranog betona šupljeg presjeka. Kolovozne konstrukcije su od prednapregnutog betona, eventualno od lakog betona većinom sandučastog presjeka, s jednom ili više čelija. Ako se upotrebljava malo kabela s velikim razmacima ovješnja, može se most promatrati kao gredni nosač



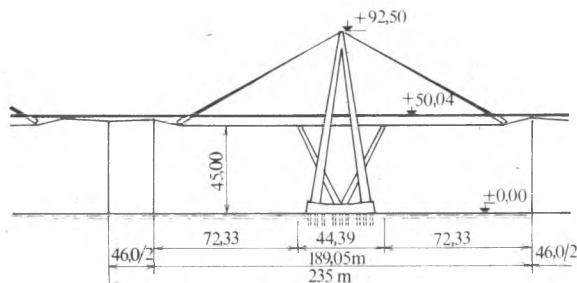
Sl. 152. Ovješeni most



Sl. 153. Ovješeni most s gustom lepezom



Sl. 154. Ovješeni most s kabelima u obliku harfe



Sl. 155. Ovješeni most (Maracaibo)

s međustupovima (sl. 152). Visina i krutost grede mora tada odgovarati rasponima. Tendencija je, međutim, da se primijeni gusta lepeza kabela (sl. 153). Most se može tretirati više kao konzola kojoj je greda donji pojas, a kosi kabeli gornji pojas. Budući da su mjesta ovješnja kabela malo razmaknuta, greda je vrlo vitka, te je treba kontrolirati na izvijanje. Kabeli mogu biti ovješeni u obliku lepeze (sl. 153), što je u tehničkom pogledu bolje, ili u obliku harfe (sl. 154), što je ljepše. Mogu se smjestiti u jednoj ravlini u sredini mosta, ili u dvije ravline na rubovima. Zanimljivi su, iako nisu lijepi, neki mostovi Morandija (sl. 155).

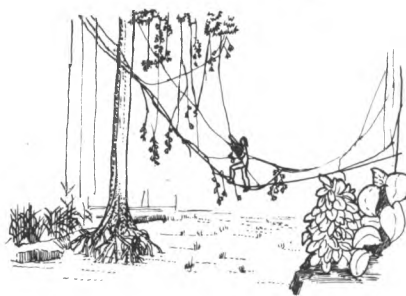
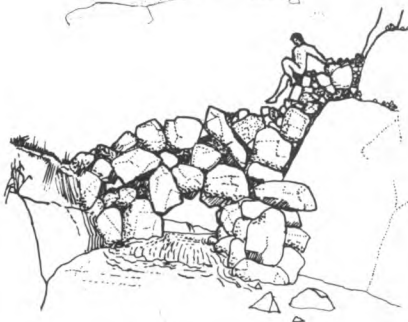
Rešetkasti mostovi. Njihova primjena vrlo je rijetka, iako ima nekoliko vrijednih mostova takve vrste. Nastali su kao rezultat

nastojanja da se glavni nosači što više olakšaju. Izgrađeni su s upuštenim kolnikom (sl. 156) i s kolnikom s gornje strane. Rešetka se sastoji od gornjeg i donjeg pojasa, te ispune koja je trokutastog ili rombičnog oblika. Rešetkasti mostovi prikladni su za montažnu gradnju, iako se rijetko izvode zbog složene gradnje.

Zategnuti mostovi. Osnovni je element zategnutih mostova prednapregnuta traka, koja prelazi preko stupova s jakim konzolama. Upeta je na oba kraja u upornjake (sl. 157). Između konzola nalazi se vrlo tanka ploča (do 30 cm), u kojoj su smještene prednapregnute šipke na najmanjem mogućem međusobnom razmaku.

RAZVOJ MASIVNIH MOSTOVA

Prve mostove stvarala je priroda sama: oboreno stablo preko potoka, luk stvoren erozijom, lijana obješena s jednog stabla na drugo preko bujice i sl. (sl. 158). To su ujedno i prototipovi grednih, lučnih i visećih mostova. Prvi građeni mostovi bili su drveni (v. *Mostovi, drveni*). Iz rimskog doba poz-



Sl. 158. Prvi prirodni mostovi



Sl. 156. Rešetkasti most od prednapregnutog betona



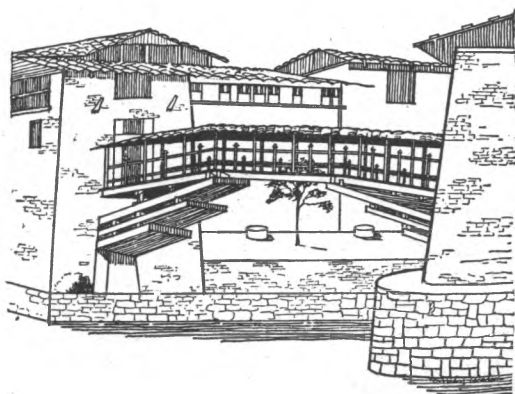
Sl. 157. Zategnuti most



Sl. 159. Primitivni most s kamenim stupovima

nati su drveni mostovi: Cezarov preko Rajne i Trajanov preko Dunava. U Švicarskoj, SAD, Njemačkoj i Francuskoj nalaze se i danas vrijedni drveni mostovi. Prvi kameni mostovi bile su ploče. Sa tehničkim razvitkom čovjek je počeo graditi stupove od kamena, te su tako nastali mostovi s više otvora (sl. 159). Egipćani i Babilonci znali su graditi kamene pločaste mostove. Asirski vojni inženjeri bili su vrsni graditelji pontonskih mostova. Njihovu tehniku razvili su dalje Perzijanci. Kserkso je uspio pomoću 614 lađa premostiti Helespont. Sumeranci su ←3500. godine gradili svođene mostove od opeka, jer nisu imali kamena. Za vrijeme treće dinastije (←2980...←2475) Egipćani su poznavali gradnju svođenih mostova. U Južnoj i Sjevernoj Americi, sjevernoj Indiji, središnjoj Africi, Kini i drugdje gradili su se viseći mostovi. Užeta su pletena od lijana, vlaknastih korijena agave i sl. Gradnja mostova u Kini započela je oko ←2200. za vrijeme cara Yao. Prvi mostovi bili su pontonski. Kinezi su također gradili gredne, osobito konzolne mostove (sl. 160) od drva i kamena, a viseće od drva s užetima od biljaka.

Lučni mostovi. Rimljani su gradili mostove od drva, opeke, kamenih ploča, no poznati su po svojim kamenim svođenim



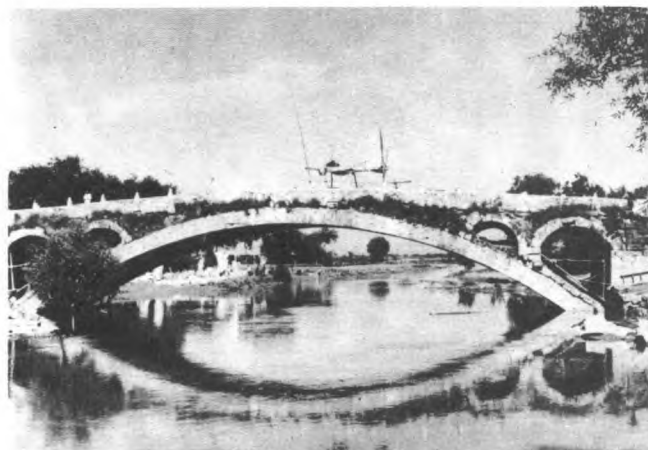
Sl. 160. Tip drvenog konzolnog mosta



Sl. 161. Pont du Gard kod Nimesa u južnoj Francuskoj



Sl. 163. Ponte Vecchio u Firenci



Sl. 162. Kineski kameni most iz VII st.

mostovima i akveduktima. Gradnju mostova naučili su od Etruščana, te je razvili i u tehničkom i u umjetničkom pogledu. Većina mostova sagrađena je za vrijeme širenja Rimskog Carstva. Iako nisu poznavali mehaniku, bili su vrsni graditelji i osjećali su djelovanje sila. Primjenjivali su polukružni, bačvasti i segmentni svod, vrlo blizak polukružnom. Međustupovi su im široki, a temelji izgrađeni na kamenom nabačaju. Izvanredna kvaliteta njihovih mostova očituje se u tome što su neki sačuvani do danas (u Rimu, Riminiju, Segoviji, Salamanki, Pont du Gard). Najvredniji je sačuvani akvedukt Pont du Gard kod Nimesa u južnoj Francuskoj (v. *Akvedukt*, TE 1, str. 69). Dug je 270 m, a visok 49 m. Izgrađen je na 3 kata, s rasponima od 24,5 m, oko ←13. godine (sl. 161). Poznati su još akvedukt kod Tarragone (sagrađen nešto prije početka nove ere, izveden je u dva kata s malim polukružnim svodovima), zatim Anđeoski most u Rimu (sa svodovima otvora 18,0 m, sagrađen 138. god) (v. *Gradevni kamen*, TE 6, str. 243), most Salavio, akvedukt Valens u Carigradu, Tiberijev most kod Riminija (star više od 2000 godina), akvedukt kod Splita itd. Do današnjeg doba sačuvani su većinom akvedukti i mostovi temeljeni na stijeni. Mnogi mostovi sagrađeni preko rijeka nisu se održali zbog razornog djelovanja vode, jer su im stupovi bili temeljeni na kamenim nabačajima. Karakteristično je da su imali strme pristupne rampe i male otvore (do 20 m). Osnovni su elementi tih mostova: svod, parapetni zidovi, ispuna, ograda, stupovi i upornjaci. Ta se kompozicija održava sve do primjene betona potkraj XIX st. U srednjem vijeku počeli su primjenjivati otvore iznad stupova za olakšanje konstrukcije, što se primjećuje i na turskim mostovima. Zanimljivo je da su Kinezi već u VII stoljeću (sl. 162) primjenjivali otvore iznad svodova. S propašću Rimskog Carstva nastao je prekid u gradnji mostova koji je trajao oko 1000 godina. Sve do vladavine Karolinga građeno je malo kamenih mostova. Poznati su iz tog doba Vražji most kod Martorella, Bomfica kod Lisabona, gotički akvedukt kod Spoleta. Za vrijeme križarskih ratova gradnja i

održavanje mostova i cesta povjereni su redovnicima (Fratres pontifices). Iz tog doba potječu glasoviti mostovi, i to: Karlov most u Pragu (1357—1390), Ponte Vecchio u Firenci (1345, sl. 163), stari londonski most i most u Avignonu (1177—1189), koji je imao 21 otvor s rasponom od 30 m i sa strelicom od 13,0 m. Najsmjeliji most srednjovjekovne epohe je most preko Adde kod Trezza s rasponom od 72 m. Značajka je toga doba pojava segmentnih, plosnatih i šiljatih gotičkih svodova. Interesantno je da su na nekim mostovima sagrađene zgrade (Ponte Vecchio, stari most u Londonu, sl. 164). Za vrijeme



Sl. 164. Stari londonski most

renesanse umjetnost građenja mostova bila je područje arhitekture. Na početku XV st. nastali su, s oživljavanjem antike, u Italiji i Francuskoj mostovi za koje su ljepota, linija i arhitektonski izraz vrlo bitni. Treba spomenuti most Sta Trinità preko rijeke Arno u Firenci (građen 1252, obnovio ga je B. Ammannati 1569) — koji se sastoji od 3 luka raspona 26—29 m. Poslije 30 godina sagrađio je A. da Ponte most Rialto (sl. 165) u Veneciji. Njegov vitki segmentni luk ima



Sl. 165. Most Rialto u Veneciji

raspon 28,5 m, a strelicu 7,2 m. Godine 1611. dovršen je most Pont Neuf u Parizu (rasponi 16—19,5 m). U izvanredna djela tog vremena spada i most preko Neretve u Mostaru (v. *Gradevni kamen*, TE 6, str. 244), kao dokaz turskog umijeća građenja mostova, izgrađen 1566—69. Značajka turskih mostova je šiljasti luk.

Osnove ravnoteže utvrdio je Arhimed (← 287...← 212). Leonardo da Vinci (1452...1519) izvršio je prvo probno opterećenje grede mosta da utvrdi njenu nosivost. Prva istraživanja čvrstoće materijala načinio je Galileo Galilei (1564...1642) na Univerzitetu u Padovi. On je dao matematičke izraze za čvrstoću grede na savijanje, te je tako postao osnivač modernog znanstvenog istraživanja. Pokusi R. Hooke (1635...1703) dali su poznati zakon da je produljenje štapa proporcionalno sili. Taj je zakon postao osnova za analizu konstrukcija. Barok je pogodio sa svojim izvještačenim oblikovanjem izvedbi košarastih lukova. Potporna linija u blizini pete često izlazi izvan svoda, zbog čega tamo nestaju nepovoljna naprezanja. Te svodove učvršćuju čeonu zidovi i ispuna. A. Palladio, vrsni talijanski arhitekt, znatno je utjecao na kasnije oblikovanje mostova.

Godine 1747. u Parizu se osniva prva tehnička škola École des ponts et des chaussées (Škola za mostove i ceste), što je značilo prekretnicu u mostogradnji, jer joj od tada postaje temelj znanost, osobito matematika i statika, umjesto empirije. Prvim upraviteljem te škole imenovan je J. R. Perronet (1708—1794), graditelj brojnih mostova, od kojih se osobito ističe most kod Neuillyja blizu Pariza. Njegovi se mostovi odlikuju izvanrednom malom strelicom i tankim stupovima. Omjer debljine stupa i raspona mosta Pont de Neuilly iznosi 1:10, dok je u isto vrijeme bio uobičajen omjer 1:5. Rimljani su gradili mostove s omjerom 1:3. U Engleskoj je također procvatila gradnja svodjenih mostova u mostovima J. Smeatona (1724—1782), T. Telforda (1757—1834) i J. Renniea sen. (1761—1821). J. Rennie jun. sagrađio je most preko Temze u Londonu (završen 1830). Taj most ima srednji otvor s košarastim lukom raspona od 46 m i strelicu od 9 m, zatim most preko rijeke Dee kod Chestera sa segmentnim lukom raspona od 61 m i strelicom od 12,5 m, koji je bio dugo vremena najveći luk u Evropi. Engleska mostogradnja odlikovala se nastojanjem da se smanje mase zida. U drugoj polovici XIX st. ostvaren je veliki napredak, koji je obilježen povećanjem raspona, smanjenjem troškova i brzinom gradnje. Starije su teorije svodova napuštene, te su se lukovi počeli proračunavati na temelju teorije elastičnosti. Više se ne grade lukovi segmentnog ili košarastog oblika, već se os luka utvrđuje prema potpornoj liniji, čime se postigla znatna ušteda materijala. Izradbom željeznog mosta preko rijeke Severn (1779) završena je dominacija kamenih i drvenih mostova, koji su suvereno vladali od vremena Rimljana. Koncem XIX st. otkriven je armirani beton koji je još više potisnuo gradnju kamenih lučnih mostova, koja je komplicirana i skupa. Ipak se za velike raspone grade još



Sl. 166. Kameni željeznički most preko Soče kod Solkana



Sl. 167. Most Risorgimento preko Tibera u Rimu



Sl. 168. Most Salginatobel



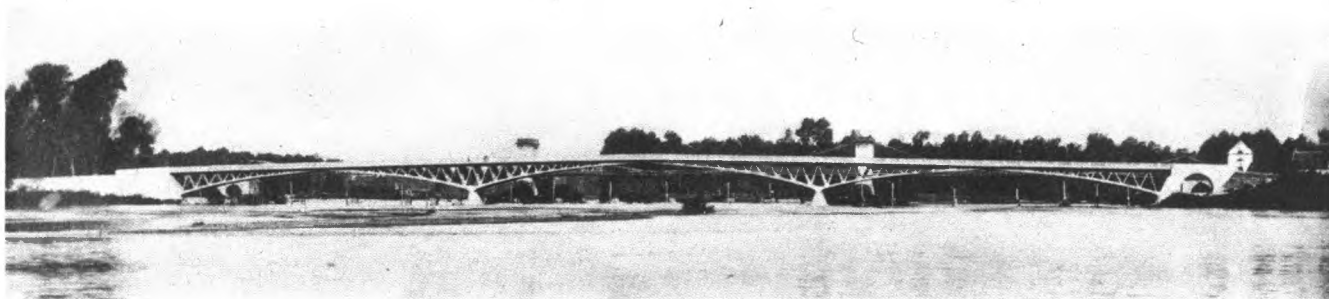
Sl. 169. Most Val-Tschel

uvijek većinom kameni svodeni mostovi kao npr. kameni most preko rijeke Pétrusse, željeznički most preko rijeke Soče kod Solkana (sl. 166) itd. Godine 1919. izgrađen je preko rijeke Lot kod Villeneuvea betonski most sa svodom raspona od 97 m. Interesantno je da je most Risorgimento preko Tibera u Rimu (sl. 167) izgrađen 1910. god. od armiranog betona. Most preko rijeke Lot ima sandučasti presjek, a 7 lučnih stijena vezano je gore i dolje pločama. To je bilo najveće djelo F. Hennebiquea i ujedno prva konstrukcija s lučnom stijenom, koja se pri gradnji mostova počela znatno kasnije primjenjivati. Uveo je i druge novosti, od kojih je najvažnija što je umjesto širokog svoda, parapeta i ispune izveo vrlo vitku raščlanjenu konstrukciju lučnog mosta, koja se sastoji od dva lučna rebra, stupova i kolovozne konstrukcije. I danas se u biti lučni mostovi grade na taj način. Iako u početku razvitka armiranog betona, Robert Maillart (1872—1940), švicarski mostograditelj, sagradio je niz mostova koji su bili konstruktivno ispred svoga vremena. Godine 1905. izgradio je most od armiranog betona kod Tavanase. Konstruiran je kao trozglobni luk raspona 51 m, srpastog oblika, tj. s visokim tjemnom, a u peti niskog presjeka. To je bio prototip za više mostova takve vrsti, od kojih možda najviše odskaje u tehničkom i estetskom pogledu most Salginatobel s rasponom od 88 m preko duboke uvale (sl. 168), sagrađen 1930. god. Maillart je izgradio također i most Val-Tschiel (sl. 169), koji ima vrlo tanak svod i prenosi samo normalnu silu, dok je kolovozna konstrukcija kruta i prenosi momente. To je bio također prototip mnogih kasnije izvedenih mostova. Budući da je izgrađen lagan luk, znatno se uštedjelo na skeli. Maillartovi su mostovi jednostavni, vrlo ekonomični i elegantni. On je bio svjestan plastičnog svojstva betona, tj. da ne podliježe

Hookeovu zakonu. Većina najuglednijih inženjera tog doba nije bila svjesna te činjenice. Proračuni armiranobetonskih konstrukcija bazirali su se na Hookeovu zakonu proporcionalnosti i Navierovoj pretpostavci ravnih presjeka. Francuski inženjer Freyssinet bio je također duboko uvjeren u plastična svojstva betona. Kao konstruktor stvorio je mnoge poznate mostove. Istraživao je također stezanje i puzanje betona, relaksaciju čelika, mogućnost povećanja kvalitete betona, trajanje njegova otvrdjivanja, djelovanje prednaprežanja na beton s armaturom i bez nje, djelovanje zglobova itd. No, prije svega on je otac prednapregnutog betona, bez kojeg se mostogradnja i građevinarstvo danas ne može ni zamisliti. Freyssinetov most kod Le Veurdrea (sl. 170) ima 3 raspona po 72,5 m. Izgrađen je od trozglobnih lukova s trokutastom ispunom. Maksimalno



Sl. 171. Most preko Seine kod Saint Pierre du Vauvray

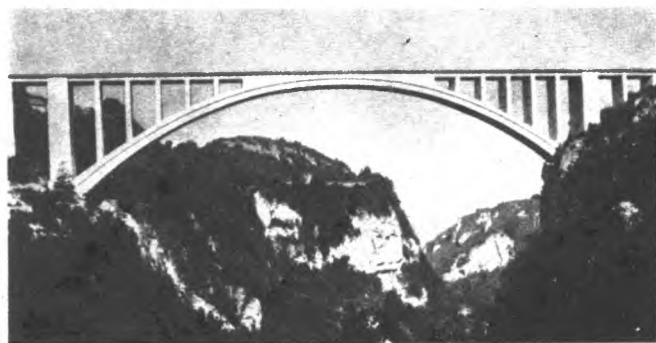


Sl. 170. Most preko rijeke Allier kod Le Veurdrea

naprezanje betona iznosi 100 kp/cm^2 ($\sim 10 \text{ MPa}$), što je vrlo mnogo za ono vrijeme (1910). Budući da su lukovi vrlo položiti, tjeme se počelo spuštati zbog stezanja i puzanja, te je postojala opasnost da se most sruši. Freyssinet je bez obustave prometa preko mosta pomoću hidrauličnih dizalica podigao lukove i tako otklonio opasnost. Most preko Seine kod Saint Pierre du Vauvray (sl. 171), sagrađen 1923, raspona 131,8 m, strelice 25 m, bio je tada najveći armiranobetonski lučni most. Nosiva konstrukcija sastoji se od 2 upeta luka s obješenom kolovoznom konstrukcijom. Lukovi i 2 poprečna ukrućenja (umjesto vjetrovne sprege) šupljeg su presjeka. Za skidanje skele upotrebile su hidrauličke dizalice. Najvredniji je Freyssinetov most preko ušća rijeke Elorn između Plougastela i Bresta (sl. 172). Sastoji se od 3 jednaka luka raspona 186,4 m (do 1942. god. najveći raspon). Lukovi su šupljeg presjeka s po 3 ćelije. Kako je već spomenuto, svi su sagrađeni s istom skelom, koja je bila dovezena u pojedine otvore vodenim putem. Gornja kolovozna površina mosta služi za cestovna vozila, a donja za željeznička. Freyssinet je projektirao 3 lučna mosta na auto-cesti Caracas—La Guaira (1953). Rasponi su tih mostova 152, 146 i 138 m. Budući da premošćuju duboke jaruge, i do 73 m, predložio je vješanje skele o kabele. Time je stvoren novi način građenja svodenih betonskih mostova, koji je utjecao na gradnju takvih mostova u svijetu i u nas.



Sl. 172. Most preko rijeke Elorn kod Plougastela u Bretanji



Sl. 173. Most la Caille

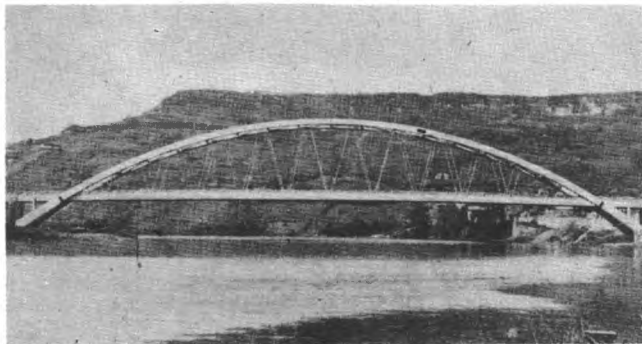
U razdoblju između dva svjetska rata izgrađeno je mnogo zanimljivih betonskih i armiranobetonskih lučnih mostova. Most La Caille (sl. 173) je dvokolosiječni željeznički most, izgrađen 1930. god. preko duboke vrleti, raspona 137,5 m, strelice 28,3 m. Poprečni presjek je sandučast sa 3 komore.

Cestovno-željeznički most Traneberg u Stockholmu izvanredno je uspio u estetskom pogledu (sl. 174). Isti ritam stupova u inundaciji sačuvan je i iznad luka, koji ima raspon 181 m. Most je dug 545 m, a širok 27,5 m. U poprečnom presjeku sastoji se od 2 sandučasta presjeka, svaki po 3 komore. Izveden je (1934.) pomoću čelične lučne skele.

Most u Castelmoronu preko rijeke Lot u Francuskoj (sl. 175) izgrađen je 1933. god. To je lučni most raspona 143 m



Sl. 174. Cestovno-željeznički most Traneberg u Stockholmu



Sl. 175. Cestovni armiranobetonski most Castelmoron (sustav Nielsen)

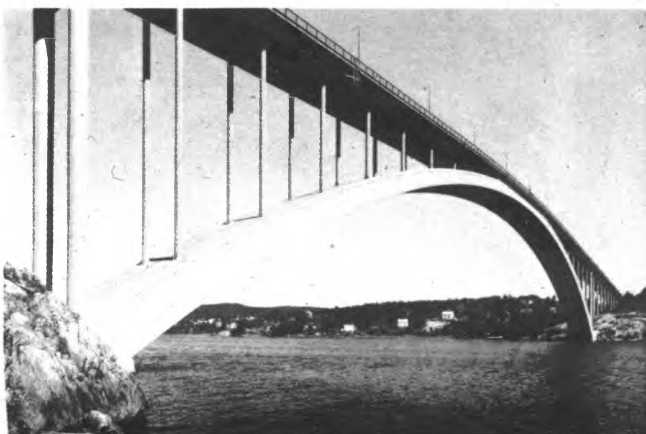
od armiranog betona, sustava Nielsen, tj. s vješaljkama trokutastog oblika.

Most preko Tare (sl. 176) od armiranog betona sastoji se od jednog luka raspona 116 m i pet manjih od po 47 m. U poprečnom presjeku su po 2 luka.

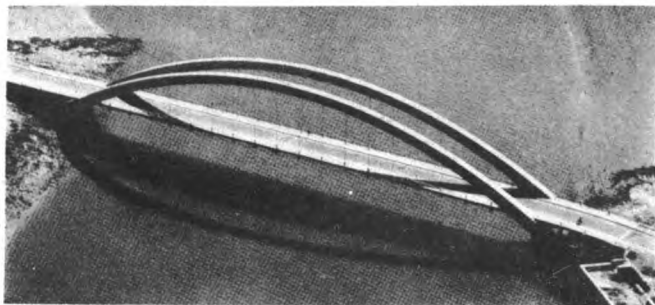
Most Sandö (sl. 177) dugo je vremena bio most s najvećim rasponom koji iznosi 264 m. Izgrađen je od armiranog betona



Sl. 176. Cestovni most preko Tare (projektant M. Trojanović)



Sl. 177. Cestovni most Sandö (Švedska)



Sl. 178. Cestovni most Canada preko rijeke Jandi (Francuska)

1943. godine. Svod mu je sandučastog presjeka sa tri komore. Ukupna duljina mosta iznosi 810 m. Lučna drvena skela srušila se za vrijeme gradnje te je načinjena druga s poduporama.

Poslije drugog svjetskog rata građene su mnoge prometnice, te je izgrađeno i mnogo vrijednih lučnih mostova.

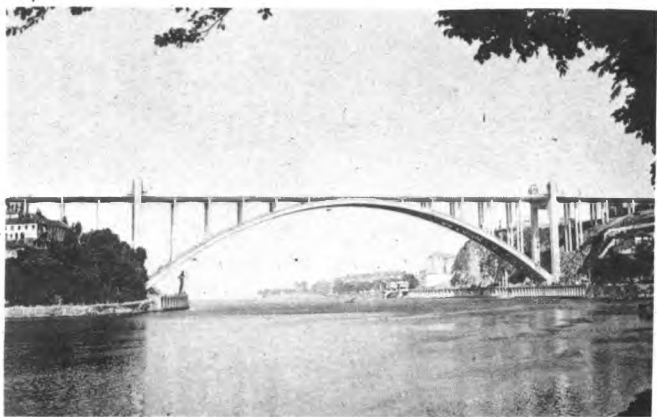
Godine 1954. izgrađen je most Canada (sl. 178) u mjestu Tregie (Francuska). Kolnik je upušten i upeti lukovi imaju raspon od 153 m. Jedinstven je po čistoći linija i eleganciji. Interesantno je da lukovi nemaju vjetrovni spreg, što mostu daje poseban čar.

Cestovno-željeznički most preko Dunava u Novom Sadu (sl. 179) dovršen je 1961. godine. Sastoji se od većeg (211 m) i manjeg raspona (165,8 m). Kolnik je upušten, a lukovi su srpastog oblika, šuplji i uklješteni. Ukupna duljina mosta iznosi 466,5 m, a širina 20 m. Stupovi i upornjaci temeljeni su na kesonima. Vješaljke, poprečni nosači i ploče hodnika su montažne, dok je ostali dio kolnika betoniran na gradilištu.



Sl. 179. Cestovno-željeznički most preko Dunava u Novom Sadu (projektant B. Žeželj)

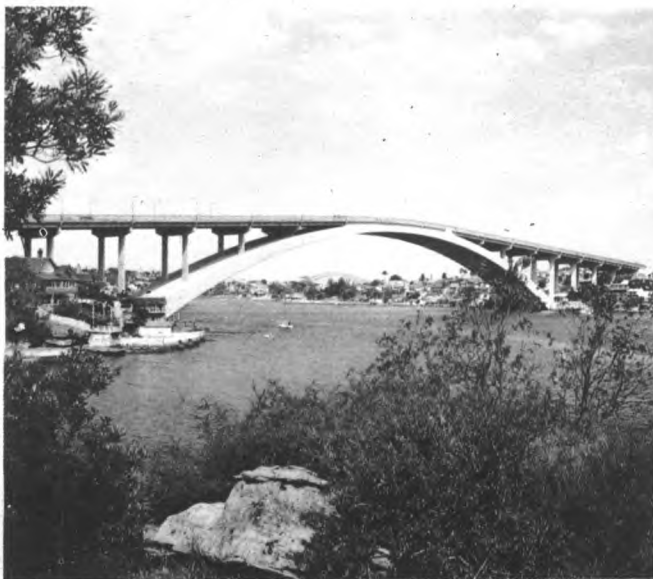
Cestovni most Arrábida (sl. 180) preko rijeke Douro (Portugal) ima dva sandučasta armiranobetonska luka, široka po 8 m, sa 2 komore, međusobno povezana gornjom i donjom spregom. Raspon lukova iznosi 270 m, a strelica je 52 m. Most



Sl. 180. Most Arrábida preko rijeke Douro (Porto, Portugal)

je završen 1963. godine. Skela je punostjeni čelični luk izgrađen konzolno pomoću zatega.

Preko rijeke Parramatte (sl. 181) u Sidneyu dovršen je 1964. godine most s najvećim rasponom svoda od 305 m. Ukupna duljina mosta iznosi 580 m, a širina 25,62 m. Ritam stupova na razmaku od 30,48 m, izveden u inundacijama, zadržan je i na svodu. U poprečnom presjeku svod se sastoji od četiri paralelna prstena sandučastog presjeka. Izgrađeni su jedan iza drugoga pomoću iste skele koja je pomicala u poprečnom smjeru. Lukovi su konstruirani sastavljanjem montažnih lamela, počevši od peta prema tjemenu. Interesantno je da su skele otpuštene ekspanzijskim postupkom, pri čemu su hidrauličke dizalice stavljene na dva mjesta, približno u četvrtinama luka, gdje momenti imaju vrijednost približno jednaku nuli.



Sl. 181. Most preko rijeke Parramatte (Sidney: Australija)

Pod utjecajem R. Maillarta izgrađen je lijepi most kod Schwieberdingena (1962), duljine 280 m, širine 12 m (sl. 182). Osobitost je luka, raspona 114 m, da je u srednjem dijelu sandučastog presjeka, odakle se postepeno razdvaja u dva posebna kraka, što doprinosi poprečnoj stabilnosti luka.



Sl. 182. Most preko doline potoka Glems kod Schwieberdingena (SR Njemačka)

Među najvećima u svijetu je luk šibenskog mosta (završen 1966) raspona 246,5 m, širine 7,5 m, strelice 30,8 m, omjer je strelice i raspona 1:8 (sl. 183). Luk je šupalj i sastoji se od 3 komore. Momenti inercije luka slijede anvelopu momenata pokretnog opterećenja. Iznad luka su po 4 uzdužna montažna nosača, položena na montažne stupove, koji su razmaknuti 23,3 m. Svod je izveden konzolnim postupkom pomoću zatega



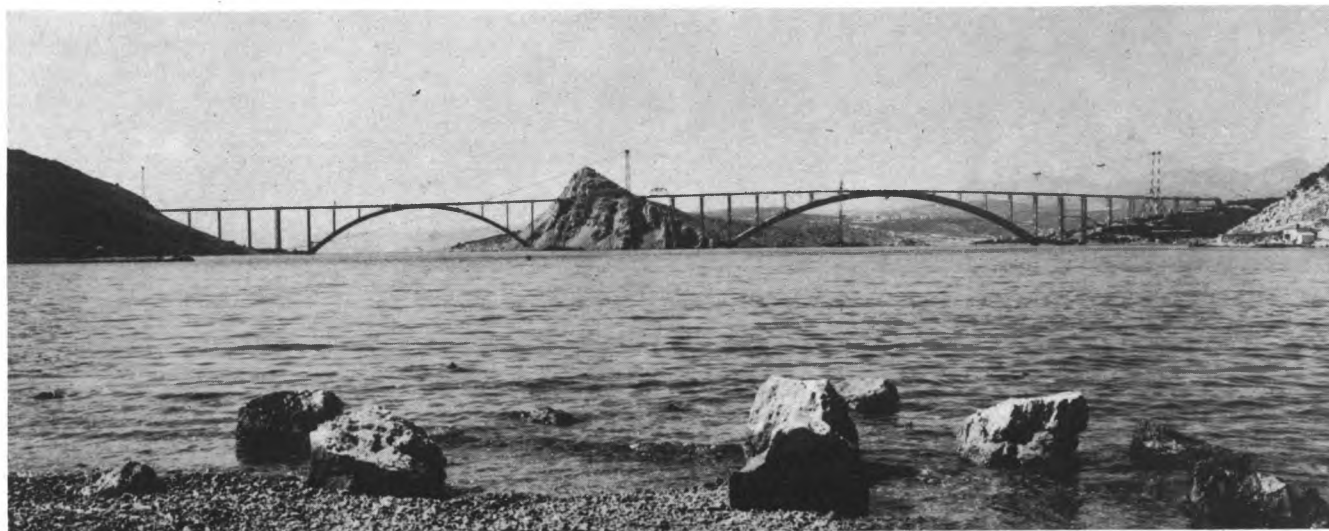
Sl. 183. Šibenski most



Sl. 184. Paški most



Sl. 186. Gradnja luka Titova mosta pomoću čeličnih zatega



Sl. 185. Titov most između kopna i otoka Krka

usidrenih u upornjake, te čelične skele, koja se postepeno pomicala prema sredini luka. Paški most (sl. 184) u osnovi je izveden jednako kao i šibenski. Raspon ukliještenog srpastog luka iznosi 193,2 m, strelica 27,6 m, omjer strelice i raspona 1:7 i širina 7 m. Ukupna je duljina 302 m. Prednost je takva postupka izvanredno kratko trajanje betoniranja svoda. I na šibenskom i paškom mostu primijenjen je ekspanzijski postupak radi eliminiranja dodatnih momenata.

Titov most (sl. 185) povezuje kopno s otokom Krkom preko otočica Sv. Marko. Dug je 1310 m, a širok 11,4 m. Sastoji se od dva armiranobetonska ukliještena luka, od kojih veći (kopno—Sv. Marko) ima rekordan raspon od 390 m, a manji (Sv. Marko—Krka) raspon od 244 m. Strelica većeg luka iznosi 60 m, a manjega 47,5 m. Oba luka imaju sandučasti presjek koji je sastavljen od montažnih elemenata, čemu je pogodovala konstantna visina presjeka. Visina je presjeka većeg luka 6,5 m, a manjega 4 m, dok je širina presjeka većeg luka 13 m, a manjega 8 m. Kolovozna konstrukcija sastoji se od tri uzdužna prednapregnuta nosača i kolovozne ploče od armiranog betona. Veći luk utemeljen je pomoću trokutne konstrukcije koja se sastoji od sandučaste konstrukcije s temeljem na obali, te kosog punog stupa s temeljem u moru na koti $-19,0$ m. Lukovi su izgrađeni konzolnim postupkom pomoću čeličnih zatega (sl. 186). Most se gradio nepune četiri godine. U lukovima mosta nalaze se cjevovodi rafinerije nafte u Urinju i petrokemijskog kombinata u Omišlju na Krku te naftovod i vodovod; opterećenje tim cjevovodima od $3,5 \text{ t/m}^2$ premašuje opterećenje od prometnih vozila na kolovozu.

Gredni mostovi. Pronalazak portlandskog cementa (v. *Cement*, TE 2, str. 585) i Monierovi patentni (1867—1870) načinili su revoluciju u graditeljstvu i mostogradnji: pronađen je armirani beton (v. *Armironi beton*, TE 1, str. 387; v. *Armironobetonske konstrukcije*, TE 1, str. 403). Stvorena je baza za gradnju pločastih i grednih betonskih mostova. Beton i armirani beton zajedno s čelikom istisnuli su kamene svedene mostove. Umjesto njih grade se betonski, te armiranobetonski svedeni i gredni mostovi.



Sl. 187. Armiranobetonski most preko Ourthe u Liègeu (suvremena fotografija)

Armirani beton. Već je između 1887. i 1891. godine poduzeće Wayss i Freytag iz Njemačke sagradilo više od 300 svođenih betonskih mostova do raspona od 40 m.

F. Hennebique je 1905. godine u Belgiji sagradio gredni armiranobetonski most preko rijeke Ourthe raspona 54 m. Od

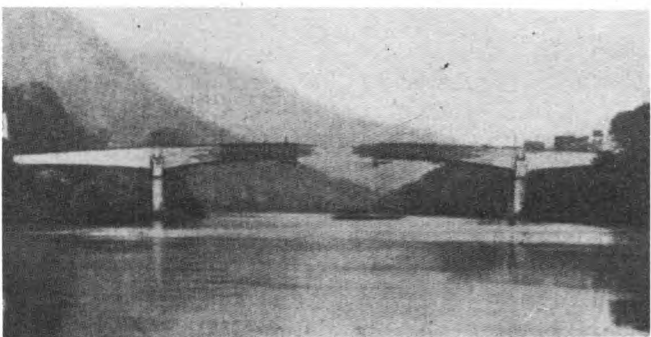
početka XX st. pa do drugoga svjetskog rata era je armiranobetonskih mostova. U statičkom pogledu bile su to proste grede, kontinuirane grede, Gerberovi nosači, nosači s prepustima i protutezima, Vierendel-nosači i okviri. Glavni su nosači bili najviše punostjeni, no bilo je i rešetkastih nosača. Godine 1928. izgrađen je preko željezničkih kolosijeka zanimljiv most La Fayette u Parizu (sl. 188). Glavni su nosači armiranobetonske rombičaste rešetke s dolje smještenim kolnikom. Rasponi nosača iznose, radi kosine, 76,85 i 71,87 m. U Brazilu je (1930) kod grada Hervalá izgrađen dotada najveći punostjeni gredni most raspona 68,5 m (sl. 189). Tu je prvi put primijenjena slobodna gradnja (Freivorbau), koja je došla do punog zamaha tek s prednapregnutim mostovima. Najvredniji je most onog vremena kontinuirane konstrukcije s rasponima od 70,7 m most Waterloo preko Temze u Londonu, izgrađen 1939. (sl. 190).

Armiranobetonske mostove rano je prihvatila i željeznica. Zbog pomanjkanja građevne visine često su se primjenjivali mostovi s upuštenim kolnikom.

Vrlo lijep i originalan je most preko Korane u Slunju, 1958. (sl. 191). Preko kanala Donzère (Francuska) sagrađen je



Sl. 188. Most La Fayette u Parizu



Sl. 189. Cestovni most kod Hervalá u Brazilu

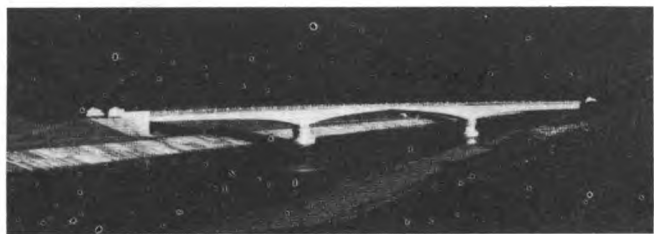


Sl. 190. Novi most Waterloo preko Temze u Londonu



Sl. 191. Most preko Korane u Slunju (projektant K. Tonković)

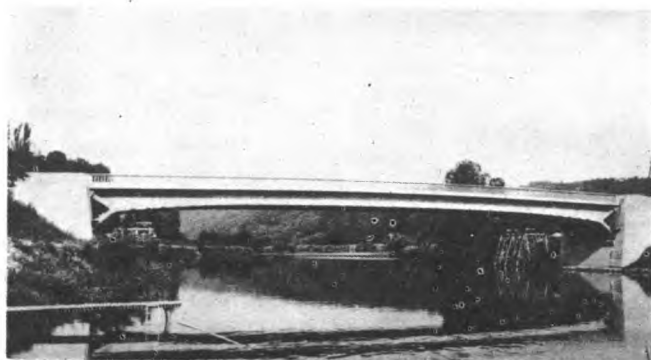
1952. godine gredni most najvećeg raspona (sl. 192). Sustav je kontinuirana greda preko 3 polja (raspona $\cdot 78,5 + 100,0 + 78,5$ m), s aktiviranim zglobovima u sredini središnjeg polja. Poprečni presjek sastoji se od 4 sandučasta nosača povezana međusobno poprečnim rešetkastim spregama na razmaku od 11 m. Sva 4 nosača betonirana su postupno pomoću iste lagane čelične skele na kojoj je bila obješena oplata.



Sl. 192. Cestovni most preko kanala Donzère (Francuska)

Prednapregnuti beton. U prednapregnutom se betonu pomoću kabela ili čeličnih šipki visoke čvrstoće daje vlačnoj zoni presjeka toliki tlačni prednapon da se ni djelovanjem svih opterećenja ne pojavljuju vlačna naprezanja. To se naziva punim prednaprežanjem. Ekonomičnije je, međutim, ograničeno prednaprežanje, kad se dopuštaju u dijelu presjeka vlačna naprezanja, koja preuzima obična meka armatura. U kvalitativnom pogledu ograničeno prednaprežanje ne zaostaje za punim, čak ima i neke prednosti. Razdoblje nakon drugoga svjetskog rata moglo bi se nazvati razdobljem prednapregnutih betonskih mostova, jer se 90% od svih srednjih i velikih mostova gradi danas od prednapregnutog betona. Armirani se beton upotrebljava za raspon od 15 m, iako se i tada često gradi od prednapregnutog betona. Prednost je prednapregnutog betona u mnogo manjim visinama konstrukcija, pa prema tome i u mnogo manjem obujmu betona i manjoj težini armature po jedinici površine mosta.

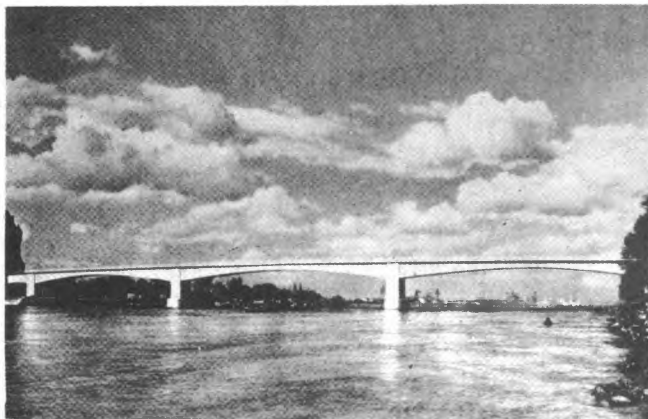
Prvi željeznički most od prednapregnutog betona ima raspon od 20 m. Freyssinet gradi (1941) most preko Marne u Luzancyju (sl. 193). To je dvozglojni okvirni most raspona 55 m. Visina nosača u sredini iznosi 1,28 m (to je $1/43$, gdje je l raspon mosta). Most se sastoji od montažnih elemenata koji su počevši od upornjaka sastavljeni prema konzolnom postupku, dok je srednji duljine 40 m sastavljen na obali, te ugrađen pomoću dizalica. To je prvi most prednapregnut u tri smjera.



Sl. 193. Most preko Marne u Luzancyju (Francuska)

Neposredno poslije rata, kad su mnogi mostovi bili porušeni, gradi se u Francuskoj većina mostova od prednapregnutog betona. To su bili uglavnom mostovi montažnog i polumontažnog tipa, izgrađeni kao ploče ili gredni mostovi sastavljeni od nosača u obliku slova I.

Širenje upotrebe prednapregnutog betona za gradnju velikih raspona započinje (1953) s mostom u Wormsu (sl. 194), raspon $102 + 114 + 104$ m. Ovo je prvi veliki gredni most izveden balansnim postupkom, bez fiksnih skela. Godine 1954.



Sl. 194. Cestovni most preko Rajne u Wormsu

izgrađen je još veći most u Koblenzu istog tipa, raspona $101 + 114 + 123$ m.

Zanimljiv željeznički most (sl. 195) od prednapregnutog betona izgrađen je, bez skele u rijeci, kod mjesta Voulte sur Rhône u Francuskoj (1955). Nosivi sustav ima 5 dvozglobnih okvira raspona 56 m. U poprečnom presjeku je sandučast sa 3 komore.



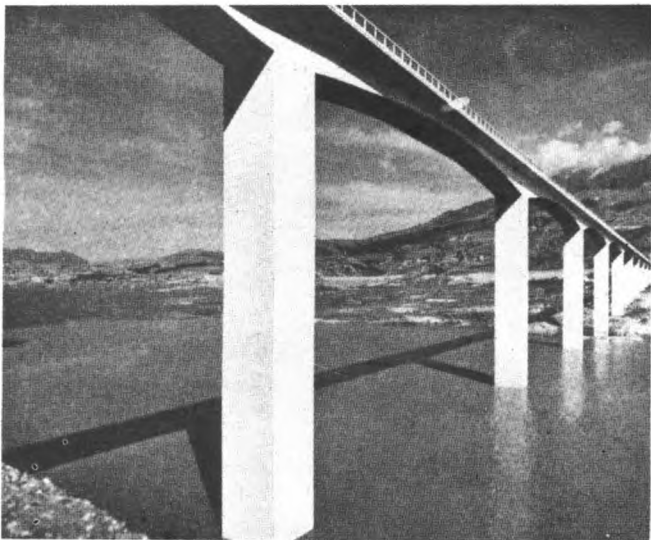
Sl. 195. Željeznički most preko Rhône kod Voulte sur Rhône (Francuska).

U to doba gradi se više elegantnih i vitkih nadvožnjaka i nathodnika (sl. 196).

Rasponi mostova od prednapregnutog betona u stalnom su porastu. Kod sela Savines (Francuska) izgrađen je (1959) balansnim postupkom most od prednapregnutog betona raspona



Sl. 196. Dva tipa nathodnika



Sl. 197. Most kod Savinesa (Francuska)

38,5 + 11 × 77 + 38,5 m (sl. 197). Poprečni presjek sastoji se od jedne komore širine 5 m. Visina nosača je promjenljiva i iznosi od 1,15...4,15 m. Svako polje osim krajnjih ima zglobov u sredini za preuzimanje transversalne sile.

U Venezueli je izgrađen u rekordnom vremenu (40 mjeseci, 1959—1960) most preko zaljeva Maracaibo, duljine 8 km (sl.



Sl. 198. Cestovni most preko zaljeva Maracaibo (Venezuela)



Sl. 199. Most preko Parane (Kolumbija)

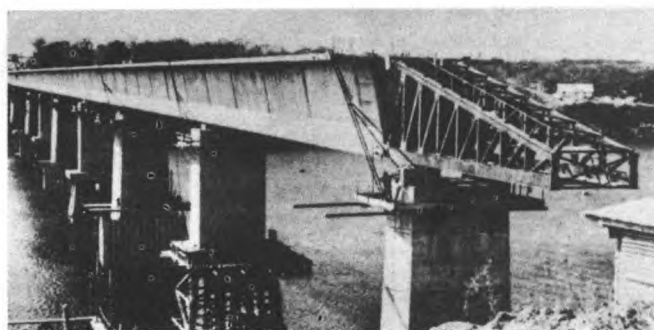
198). Značajka je toga mosta primjena mnogih montažnih elemenata. Rasponi u m iznose: 22,6 + 2 × 46,6 + 65,8 + 15 × 85 + 160 + 5 × 235 + 160 + 11 × 85 + 65,8 + 77 × 46,6 + 20 × 36,6. U statičkom pogledu pet plovniha polja izvedeni su kao obješeni sustavi s obješenom izostatičkom roštiljnom konstrukcijom. Polja raspona od 85 m stolni su konzolni sustavi, također s obješenom roštiljnom konstrukcijom. Ostala polja su roštiljne izostatičke konstrukcije po 4 montažna glavna nosača u poprečnom presjeku.

Most preko Parane u Kolumbiji (sl. 199) osobito je interesantan, jer je to svojedobno (građen 1969—1973) bio rekordni raspon i jer je to prvi obješeni prednapregnuti most izgrađen s gotovim segmentima.

Na putu Novi Sad—Temerin izgrađen je (1962) preko kanala Dunav-Tisa-Dunav most od prednapregnutog betona raspona 39 + 65 + 39 m (sl. 200).



Sl. 200. Most preko kanala Dunav-Tisa-Dunav na cesti Novi Sad—Temerin



Sl. 201. Most preko rijeke Caroni (Venezuela)



Sl. 202. Most preko rijeke Medway kod Rochester (Velika Britanija)

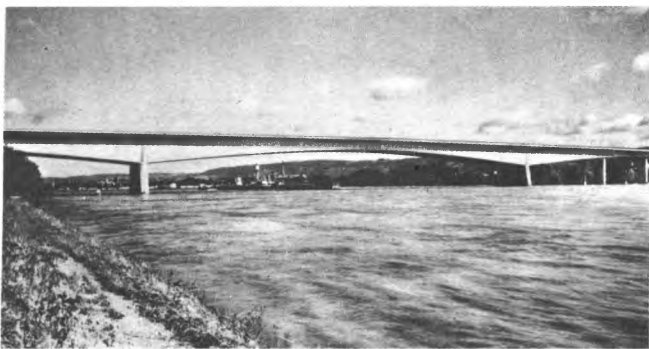
Preko rijeke Caroni (Venezuela) načinjen je most od prednapregnutog betona raspona 55,5 + 90 + 55,5 m (sl. 201). Značajka je toga mosta da je to prototip mosta, koji je izveden u lamelama iza upornjaka, a lamele su nakon izradbe postepeno uguravane u raspone. Takav se postupak katkada primjenjuje pri gradnji čeličnih mostova. Nosiva konstrukcija je prethodno utegnuta ravnim uzdužnim kabelima. Radi smanjenja momenata montiran je na početku konstrukcije čelični rešetkasti kljun. Pokazalo se da je to vrlo ekonomična izvedba.

Cestovni most preko rijeke Medway kod Rochestera (Engleska) od prednapregnutog betona dug je 1018 m (sl. 202). Rasponi su središnje nosive konstrukcije $95,3 + 152,4 + 95,3$ m, dok rasponi vijadukta na prilaznim rampama iznose $30,5 \dots 41,2$ m. Poprečni presjek središnjeg dijela mosta sastoji se od dva međusobno odvojena sanduka po tri komore. Iznad ležaja sanduk je visok 10,82 m, a na krajevima 2,74 m. Prilazni vijadukti sastoje se od izostatičnih roštiljnih konstrukcija s montažnim glavnim nosačima. Središnji dio izveden je balansnim postupkom (sl. 203), a montaža nosača vijadukata pomoću čelične lansirne rešetke.



Sl. 203. Balansni postupak gradnje mosta preko rijeke Medway (sl. 202)

Most preko Rajne u Bendorfu (sl. 204) bio je više od 10 godina most s najvećim rasponom u svijetu. Izveden je od prednapregnutog betona, balansnim postupkom (sl. 205), s lamelama duljine 7 m, betoniranim na gradilištu. Središnji dio ima raspone $71 + 208 + 71$ m. Radi smanjenja momenata izvedeni su privremeni jarmovi na zapadnom dijelu, a pomoćni kabeli s pilonima na istočnom dijelu.



Sl. 204. Most preko Rajne kod Bendorfa



Sl. 205. Balansni postupak gradnje mosta kod Bendorfa

Most preko Seine u Choisy le Roi (1965) zanimljiv je po tome što je, drugi put poslije Freyssinetovih mostova preko rijeke Marne, izgrađena nosiva konstrukcija postupkom s gotovim segmentima (sl. 206). Presjek nosive konstrukcije je sandučast.

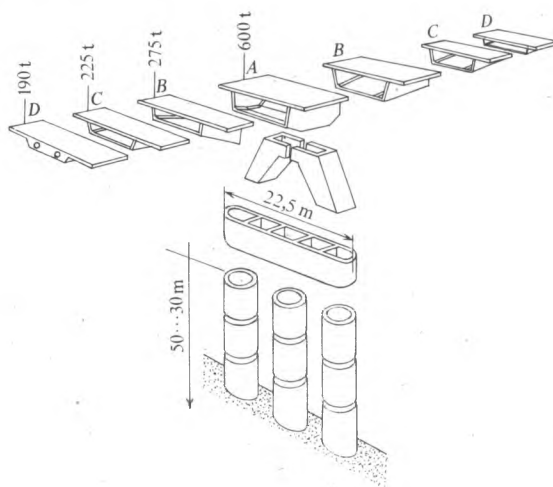


Sl. 206. Most preko Seine u Choisy le Roi kod Pariza

Preko morskog rukavca Oosterschelde (Nizozemska) izgrađen je 1966. godine cestovni most duljine 5022 m sa 50 raspona po 95 m (sl. 207). Odlikuje se racionalnom gradnjom i primjenom montažnih elemenata. Most se sastoji od 7 osnovnih



Sl. 207. Cestovni most preko rukavca Oosterschelde (Nizozemska)



Sl. 208. Osnovni segmenti mosta Oosterschelde (sl. 207)



Sl. 209. Balansni postupak gradnje mosta Oosterschelde (sl. 207) s lansirnom rešetkom

elemenata, od čega 4 otpadaju na nosivu konstrukciju (A, B, C i D) i 3 na stupove (sl. 208). Element iznad stupa težak je 600 t. Poprečni presjek je sandučast. U statičkom pogledu to je konzolni sustav sa zglobovima u sredini. Temeljen je na velikim betonskim bunarima promjera 4,25 m, duljine 30...50 m. Elementi su montirani pomoću čelične rešetke i dizalice nosivosti 600 t (sl. 209).

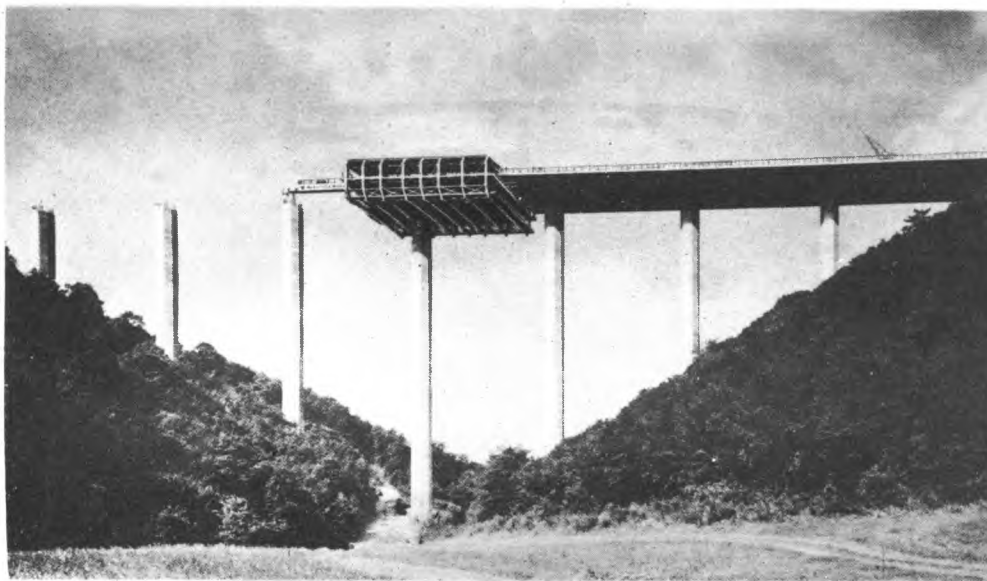
Na auto-cestama Italije izvedeno je mnogo vijadukata i mostova. U početku se radi jednostavnosti davala prednost izostatičnim roštiljnim sustavima s montažnim glavnim nosačima za mostove manjih i srednjih raspona. Na takvim mostovima kolnik nije kontinuiran, već je prekidan prijelaznim konstrukcijama, što je bilo nepovoljno i za vožnju i za prijelazne konstrukcije. Zbog toga su se počele primjenjivati kontinuirane nosive konstrukcije. Za veće raspone, otprilike 100 m, kad se gradilo balansiranim postupkom, primjenjivali su se često konzolni sustavi koji u sredini polja imaju zglobov za prijenos poprečne sile. Tipičan je primjer takve konstrukcije vijadukt preko doline potoka Sori (sl. 210). Razmaci su stupova $30,8 + 31,6 + 2 \times 100 + 65$ m. Konzole i stupovi sandučastog su presjeka, a konzole su promjenljive visine. Konzole su izgrađene balansiranim postupkom, a montažni nosači ubačenih polja ugrađeni su pomoću čelične lansirne rešetke.

Vijadukt preko doline Elz kod Koblenza (SR Njemačka), duljine 379 m, širine 30 m, izgrađen je konzolnim postupkom, idući od jednog kraja prema drugome (sl. 211). Nosiva je konstrukcija ploča u obliku gljive od prednapregnutog betona,

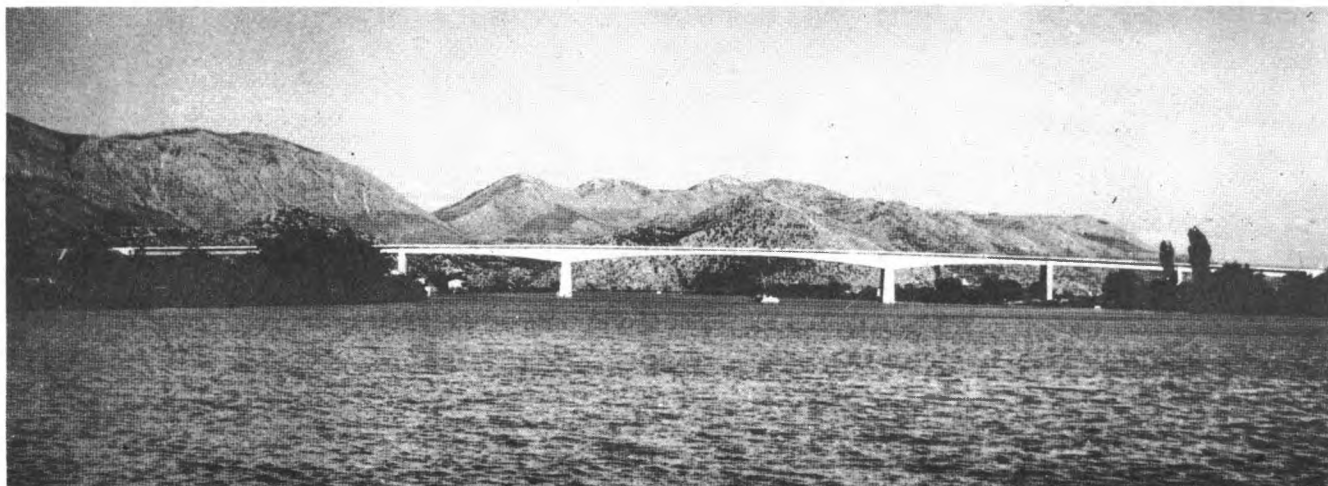
oslonjena na osmerokutne šuplje armiranobetonske stupove visine do 100 m. Vijadukt ima devet polja po 37,5 m. Poprečna dilatacijska spojnica nalazi se samo 11,6 m od stupa u središnjem polju, tj. na mjestu gdje je moment jednak nuli.



Sl. 210. Vijadukt preko potoka Sori (Italija)



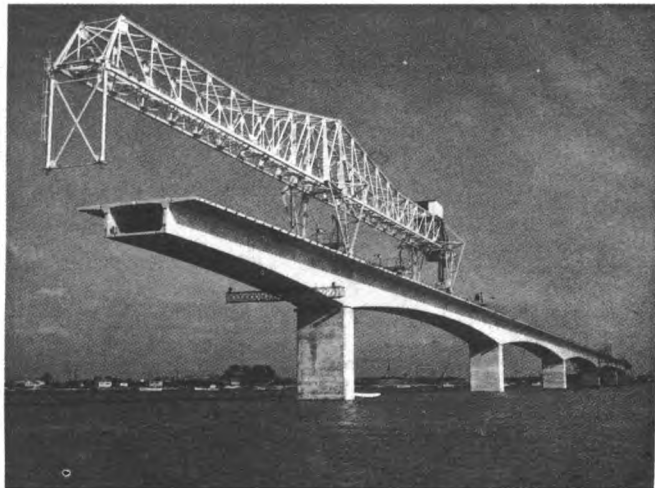
Sl. 211. Vijadukt preko doline Elz kod Koblenza (SR Njemačka)



Sl. 212. Most preko Neretve kod Rogotina

Preko rijeke Neretve kod Rogotina izgrađen je 1966. most od prednapregnutog betona (sl. 212). Središnji dio ima raspon 55 + 110 + 55 m. To je kontinuirana konstrukcija izvedena prema balansnom postupku. Ukupna je duljina 413,8 m. Poprečni presjek je sandučast i sastoji se od dvije komore. Širina je mosta 10,5 m. Riječni stupovi temeljeni su na kesonima, a ostali na Benoto pilotima.

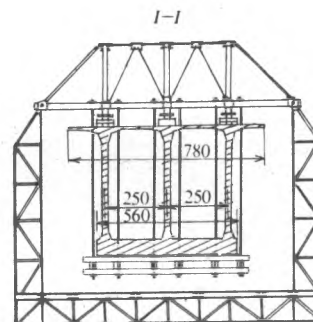
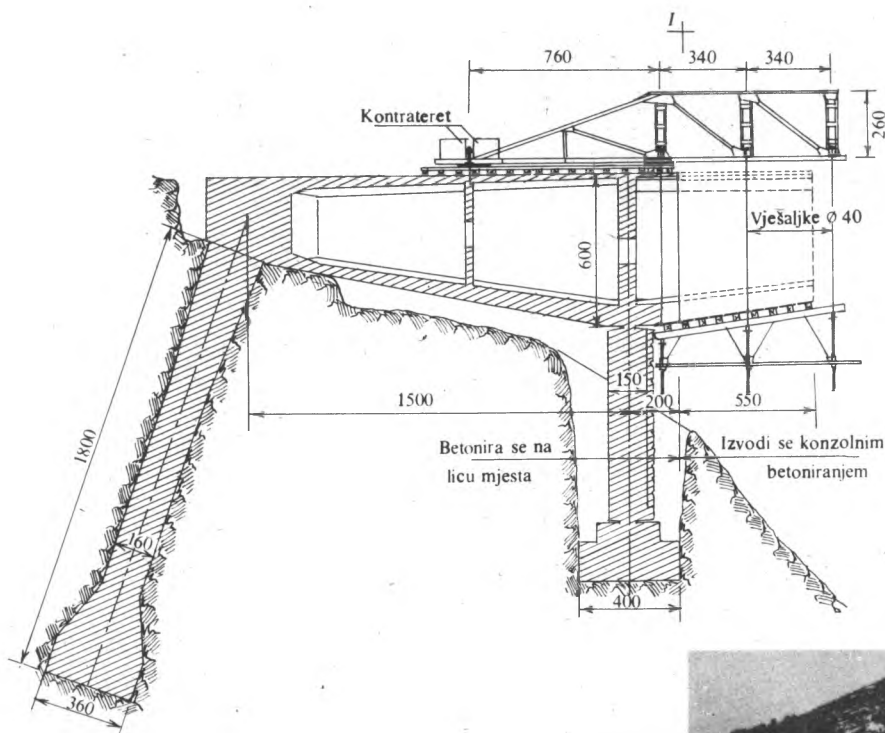
Između otoka Oléron i kopna (Francuska) izgrađen je 1966. god. cestovni most duljine 2862 m (sl. 213). Imade 46 raspona:



Sl. 213. Montaža gotovih elemenata na mostu između otoka Oléron i kopna (Francuska)



Sl. 214. Most preko Pive kod Ščepan Polja



Sl. 215. Konzolni postupak gradnje mosta kod Ščepan Polja (sl. 214)

28,8 + 7 × 39,5 + 59,3 + 26 × 79 + 59 + 9 × 39,5 + 28,8 m, a širok je 10,6 m. Nosiva konstrukcija je od prednapregnutog betona, izvedena balansnim postupkom s montažnim segmentima slijepljenim jedni uz druge. Montaža segmenata izvedena je pomoću čelične rešetkaste skele (sl. 213).

Most preko rijeke Pive kod Ščepan Polja ima raspon 15 + 122 + 15 m (sl. 214). Izveden je od prednapregnutog betona konzolnim postupkom (sl. 215). Preko zaljeva Bistrina kod Stona načinjen je most od prednapregnutog betona polumontažnog tipa (sl. 216). Dolinu potoka Bisagno, na auto-cesti Genova—Sestri Levante, prelazi vijadukt duljine 600 m (sl. 217).



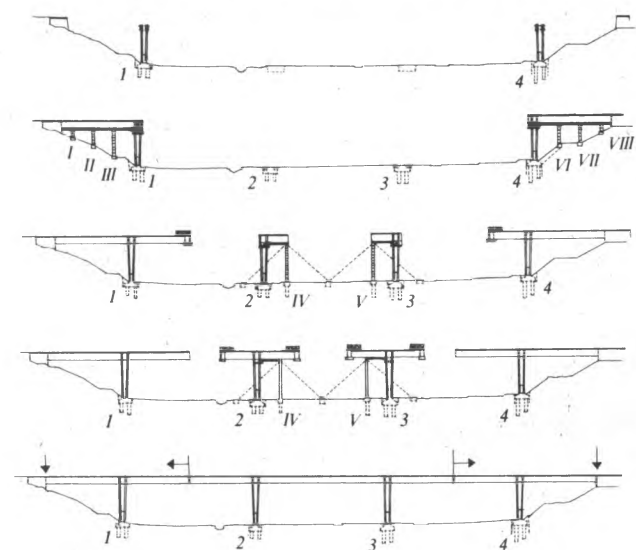
Sl. 216. Most preko zaljeva Bistrina na Jadranskoj magistrali (projektant K. Šavor)



Sl. 217. Most preko doline potoka Bisagno (Italija)



Sl. 221. Gradnja vijadukta preko doline Siegtal (sl. 220)

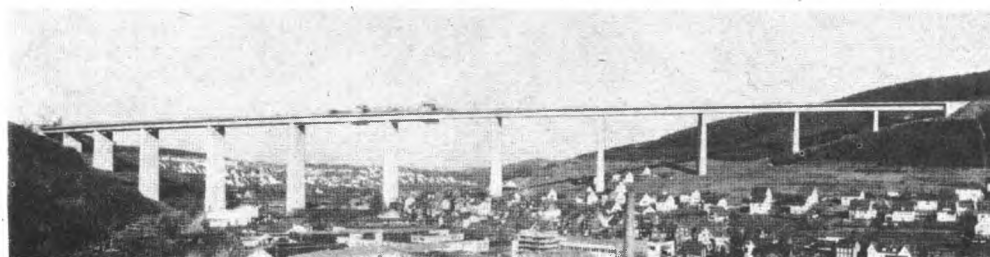


Sl. 218. Shema građenja mosta preko doline Nusle (sl. 219)

Središnji dio ima raspon $70 + 3 \times 116 + 68,7$ m. U sredinama velikih raspona (116 m) izvedeni su zglobovi radi prijenosa transverzalne sile. Poprečni presjek je sandučast promjenljive visine. Stupovi su također sandučastog konstantnog presjeka. Temeljenje stupova i upornjaka je izvršeno bunarima i bušenim pilotima. U Pragu preko doline Nusle izgrađen je 1970. god. vrlo zanimljiv i lijep most za cestovni i gradsko-željeznički promet (sl. 219). Presjek nosive konstrukcije je sandučast, konstantne visine 6,42 m. Na gornjoj površini odvija se cestovni, a unutar sanduka željeznički promet. Dug je 485 m, a širok 26,7 m. Rasponi iznose: $68,3 + 3 \times 115,5 + 68,3$ m. Srednja stupa imaju po četiri blago nagnuta stupa pravokutnog



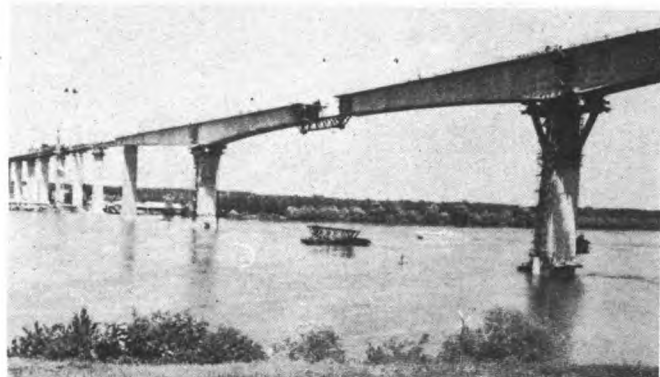
Sl. 219. Most preko doline Nusle u Pragu



Sl. 220. Vijadukt preko doline Siegtal na auto-cesti Dortmund—Giessen (SR Njemačka)

presjeka. Stupovi su temeljeni na bušenim pilotima. Krajnji otvori izvedeni su na skeli, a ostali balansnim postupkom (sl. 218). Nosiva je konstrukcija utegnuta sa 24 kabela. Godine 1969. dovršen je vijadukt preko doline Siegtal. Nalazi se na auto-cesti Dortmund—Giessen. Dugačak je 1050 m i ima raspone $63 + 75 + 90 + 4 \times 105 + 96 + 90 + 81 + 71 + 64$ m (sl. 220). Polumjer horizontalne krivine iznosi 1400 m. Nosiva konstrukcija ima sandučast presjek s jednom čelijom; statički sustav je kontinuiran nosač preko 12 nejednakih polja. Stupovi su šupljji, temeljeni na stijeni; izgrađeni su kliznom oplatom. Nosiva konstrukcija načinjena je pomoću čelične skele duljine 135 m. Njezina izradba počinje kod jednoga, a završava kod drugog upornjaka. Lamele duljine 10 m betoniraju se naprijed i natrag od stupa, na principu vage, dok se lamela s jedne strane ne spoji s postojećim dijelom, a s druge strane ne izbetonira do sredine polja (sl. 221). Tada se čelična konstrukcija pomiče za jedno polje dalje i postupak se ponavlja.

Preko Dunava kod Beške izgrađen je most od prednapregnutog betona duljine 2300 m (sl. 222). Središnji dio raspona

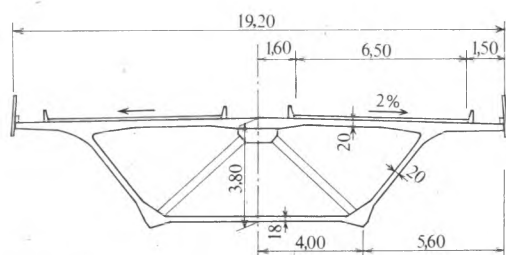


Sl. 222. Most preko Dunava kod Beške (projektant B. Žeželj)

105 + 210 + 105 m izgrađen je balansnim postupkom, dok su prilazne rampe od montažnih nosača građene pomoću čelične lansirne rešetke. Poprečni presjek središnjeg dijela je sandučast, jednočelijski, promjenljive visine, dok su rampe izvedene s izostatičkim roštiljima sastavljenim od montažnih nosača raspona 30 m. Most Brotonne (Francuska) prelazi rijeku Seinu i dug je 1280 m. Sastoji se od središnjeg dijela i dva prilazna vijadukta (sl. 223). Središnji dio je ovješeni most s kolovoznom konstrukcijom od prednapregnutog betona. Taj dio ima raspone



Sl. 223. Ovješeni most Brotonne preko Seine



Sl. 224. Poprečni presjek nosača na mostu Brotonne (sl. 223)

143,5 + 320 + 143,5 m. Nosač je sandučastog presjeka s nagnutim hrptovima, koji su također vertikalno prednapregnuti. Konstantne je visine (8,97 m) i širine (19,2 m) (sl. 224). Prednapregnut je trodimenzionalno, izveden balansnim postupkom, počevši od piona. Hrptovi su načinjeni iz gotovih elemenata. Pion je izveden od armiranog betona pomoću klizne oplate. Njegova je visina iznad kolnika 70 m, a cijela visina 120 m. Kabeli su u srednjoj vertikalnoj ravnini. Ukupno ima 4×21 kabel. Kabeli su izrađeni od 39...60 žica, zaštićeni su cijevima koje su injektirane cementnim mortom. Temeljenje je izvedeno na bunarima, a stupovi s kliznom oplatom. Među ovješnim mostovima Brotonne ima za sada najveći raspon. Građenje mosta trajalo je 3 godine (1974—1977).



Sl. 225. Cestovni most koji spaja otok Öland s kopnom (Švedska)

Između kopna (Švedska) i otoka Öland izgrađen je (1968—1977) najdulji evropski most (6070 m). Rasponi iznose $23 \times 34,57 + 65 + 6 \times 130 + 65 + 124 \times 35,12$ m (sl. 225). Veliki rasponi izgrađeni su balansnim postupkom, a mali pomoću posebne čelične skele. Most je širok $3 + 7 + 3 = 13$ m.

Između Urugvaja i Argentine preko rijeke Uruguay izgrađen je cestovni most duljine 3408 m (sl. 226). Da se osigura navigacijski gabarit (200 × 40 m), središnji raspon iznosi 220 m,

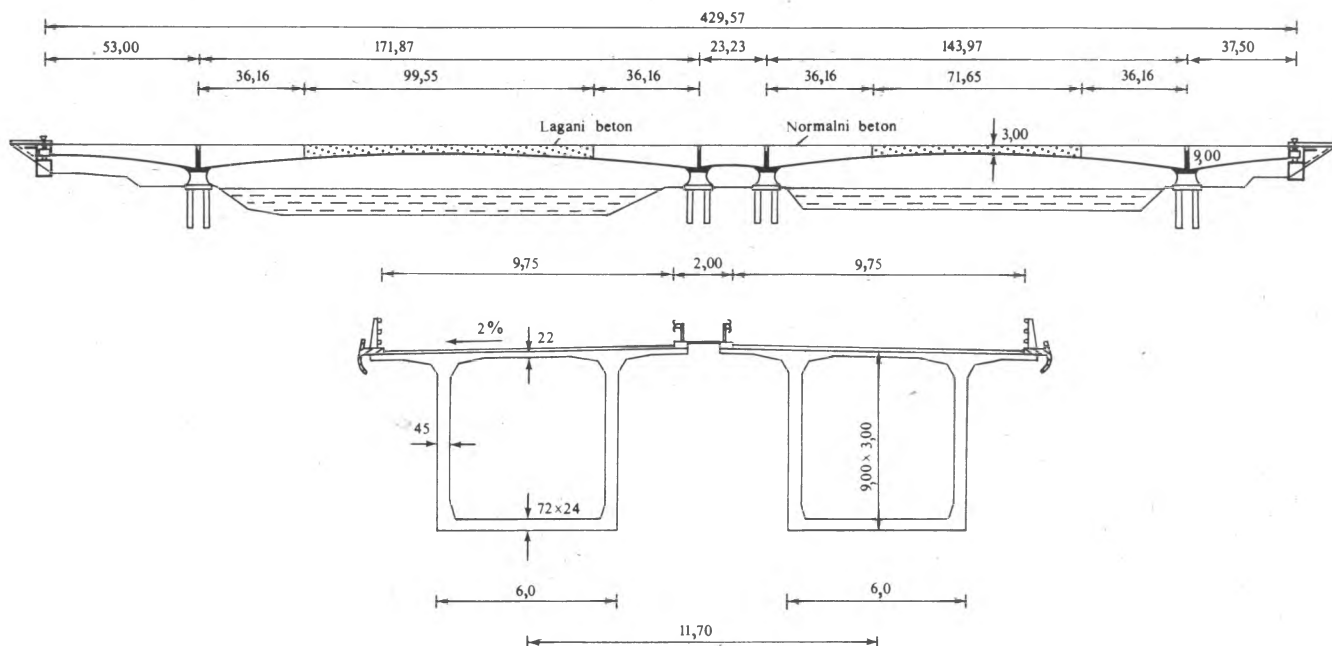


Sl. 226. Most između Urugvaja i Argentine preko rijeke Uruguay

ostali su rasponi od 70, 55,5 i 41 m. Središnji dio sastoji se od dva konzolna nosača duljine 2×90 m, između kojih je obješena izostatička roštiljna konstrukcija raspona 39,3 m. Središnji stupovi su temeljeni na bunarima, a ostali na bušenim pilotima. Konzolni nosači izvedeni su balansnim postupkom, a ostali su montirani pomoću plovni dizalica ili pomoću dizalica postavljenih na suhom.

Most preko kanala Alsace u Ottmarsheimu zanimljiv je po tome što je u srednjem dijelu velikih raspona upotrijebljen lagani beton (sl. 227) da bi se smanjili momenti. Ukupna je duljina 429,6 m, a korisna širina $2 \times 9,75$ m. Sastoji se od dvije sandučaste konstrukcije promjenljive visine 3...9 m. Temelji leže na bušenim pilotima promjera 170 i 200 cm. Most je izgrađen balansnim postupkom s gotovim elementima.

Balanski postupak našao je široku primjenu u Japanu gdje je tako izgrađeno oko 150 mostova. Most Urado, širok samo 8,5 m, s rasponom od 230 m (sl. 228) bio je neko vrijeme najdulji most u Japanu. Poslije je izgrađen most od prednapregnutog betona preko jezera Hamana (sl. 229) sa središnjim rasponom od 240 m. Ukupna je duljina 630 m s rasponima $55 + 140 + 240 + 140 + 55$ m. U sredini središnjeg raspona postoji zglob.



Sl. 227. Most preko kanala Alsace u Ottmarsheimu

Preko rijeke Columbijе (SAD) izgrađen je ovješeni most s kolovoznom konstrukcijom od prednapregnutog betona (sl. 230). Most je dug 762,91 m s rasponima središnjeg dijela 123,9 + 299,0 + 123,9 m. Presjek se sastoji od dva trokutasta sanduka međusobno vezana poprečnim nosačima na razmaku od 2,13 m i kolovoznom pločom. Most je širok 24,33 m. Čelični kabeli zaštićeni su cijevima od polietilena koje su injek-



Sl. 230. Most preko rijeke Columbijе (SAD)



Sl. 228. Most Urado u Japanu



Sl. 229. Most preko jezera Hamana u Japanu

tirane cementnim mortom. Piloni, visoki 76 m, građeni su u kliznoj oplati. Kolovozna konstrukcija, načinjena od gotovih elemenata duljine 8,23 m i težine 270 t, postavljena je balansnim postupkom simetrično od pilona na obje strane.

LIT.: E. Bittner, Momententafeln und Einflussflächen für Kreuzweise bewehrte Eisenbetonplatten. Springer, Wien 1938. — C. Massonet, Methode de calcul des ponts à poutres multiples tenant compte de leur résistance à la torsion. Int. Association for Bridge and Structural Engineering, Zürich 1950. — H. Olsen, F. Reinitzhuber, Die zweiseitig gelagerte Platte, Bd. 1. und 2. W. Ernst & Sohn, Berlin-München 1950. — H. Homberg, W. R. Marx, Schiefe Stäbe und Platten. Werner, Düsseldorf 1958. — N. J. Polivanov, Armirano betonski gradski i drumski mostovi (prijevod). Građevinska knjiga, Beograd 1959. — M. Trojanović, Betonski mostovi. Naučna knjiga, Beograd: I dio, 1961; II dio, 1964. — K. Stiglat, Rechteckige und schiefe Platten mit Randbalken. W. Ernst & Sohn, Berlin-München 1962. — H. Rüsch, Berechnungstafeln für rechteckige Fahrbahnplatten von Strassenbrücken. W. Ernst & Sohn, Berlin-München 1965. — W. Vreden, Neues allgemeines Berechnungsverfahren beliebig gelagerter gekrümmter Träger. W. Ernst & Sohn, Berlin-München 1966. — R. Dabrowski, Gekrümmte dünnwandige Träger. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1968. — G. Rakowski, R. Solecki, Gekrümmte Stäbe. Werner, Düsseldorf 1968. — M. Trojanović, Mostovi od armiranog i prednapregnutog betona. Univerzitet u Beogradu, Beograd 1968. — W. Koch, Brückenbau, Teil 2: Massiv-Brücken. Werner, Düsseldorf 1971. — R. E. Rowe, Concrete Bridge design. Applied Science Publisher, Essex 1972. — S. Grasshoff, Einflussflächen für Platten-schnittmomente zweisteiger Plattenbalkenbrücken. Werner, Düsseldorf 1973. — H. Homberg, Platten mit zwei Stegen. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1973. — M. Trojanović, Savremeni mostovi od armiranog i prednapregnutog betona. Univerzitet u Beogradu, Beograd 1974. — K. Tonković, Masivni mostovi. Školska knjiga, Zagreb 1977. — F. Leonhardt, Vorlesungen über Massivbau, 6. Teil: Grundlagen des Massivbrückenbaues. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1979.