

REPUBLIKA SRBIJA  
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE  
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

**9. PROJEKTOVANJE MOSTOVA**

**9.11 TEHNOLOGIJE GRADNJE**

**BEOGRAD, 2012.**

---

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

**Izdanja:**

<b>Br.</b>	<b>Datum</b>	<b>Opis izmena i dopuna</b>
1	30. 04. 2012.	Početno izdanje

**SADRŽAJ**

<b>9.11.1</b>	<b>UVODNI DEO</b>	<b>1</b>
9.11.1.1	PREDMET SMERNICE	1
9.11.1.2	REFERENTNI NORMATIVI	1
9.11.1.3	TERMINOLOGIJA	2
9.11.1.4	KORIŠĆENE SKRAĆENICE	3
<b>9.11.2</b>	<b>UOPŠTENO O GRADNJI MOSTOVA</b>	<b>3</b>
<b>9.11.3</b>	<b>GRADNJA RK BETONSKIH MOSTOVA NA FIKSNOJ I PRENOSIVOJ SKELI</b>	<b>4</b>
9.11.3.1	UVOD	4
9.11.3.2	FIKSNA SKELA ZA KRAĆE (MANJE) OBJEKTE	5
9.11.3.3	PRENOSIVA SKELA ZA GRADNJU RK POLJE PO POLJE	6
<b>9.11.4</b>	<b>GRADNJA RK BETONSKIH MOSTOVA NA POKRETNOSTI SKELI</b>	<b>8</b>
9.11.4.1	UVOD	8
9.11.4.2	POKRETNOST SKELA NA VRHU VISOKIH STUBOVA	8
9.11.4.3	POKRETNOST SKELA NA OSLONCIMA UZ NISKE STUBOVE	9
<b>9.11.5</b>	<b>GRADNJA RK MOSTOVA POSTEPENIM POTISKIVANJEM</b>	<b>10</b>
9.11.5.1	UVOD	10
9.11.5.2	OPREMA I POSTUPAK IZRADE SEGMENTA ZA POSTUPNO POTISKIVANJE RK MOSTOVA	11
<b>9.11.6</b>	<b>SLOBODNA KONZOLNA GRADNJA RKB</b>	<b>16</b>
9.11.6.1	UVOD	16
9.11.6.2	OPREMA I POSTUPAK KONZOLNE GRADNJE RK MOSTOVA	16
<b>9.11.7</b>	<b>MONTAŽNO MONOLITIZIRANA GRADNJA RK MOSTOVA</b>	<b>18</b>
9.11.7.1	UVOD	18
9.11.7.2	OPREMA I POSTUPAK MONTAŽNO MONOLITIZIRANE GRADNJE RK MOSTOVA	19
<b>9.11.8</b>	<b>GRADNJA RK MOSTOVA OD INDUSTRIJSKI PROIZVEDENIH AB SEGMENTA</b>	<b>21</b>
<b>9.11.9</b>	<b>SAVREMENI POSTUPCI GRADNJE STUBOVA MOSTOVA</b>	<b>22</b>
<b>9.11.10</b>	<b>SAVREMENI POSTUPCI GRADNJE LUČNIH MOSTOVA</b>	<b>22</b>



### 9.11.1 UVODNI DEO

#### 9.11.1.1 Predmet smernice

Smernica daje osnovne podatke, karakteristike i usmeravanja o savremenim tehnologijama gradnje mostova, prvenstveno rasponskih konstrukcija.

Projektanti mostova već u prvoj fazi koncipiranja dispozicionih rešenja mostova treba da znaju kako će se odvijati gradnja mosta. U daljim fazama projekta dokaz stabilnosti, nosivosti i pouzdanosti mostova ne može da se izvede bez definisanja tehnologije gradnje. Izmena tehnologije gradnje već projektovanog mosta

podrazumeva izmenu većeg dela projekta, jer je sinergija projektovanja i gradnje karakteristika savremenog projektovanja mostova.

Smernica stavlja akcenat na monolitnu i montažno-monolitiziranu izgradnju bez poprečnih i podužnih spojnica na rasponskoj konstrukciji.

Gradnja na fiksnoj skeli i gradnja mostova postupnim potiskivanjem ne uslovljava nabavku skupe opreme i prihvatljive su za potencijalne izvođače.

Gradnja RK mostova od gotovih segmenata, gradnja stubova mostova i lučnih mostova obrađene su informativno.

#### 9.11.1.2 Referentni normativi

Pri korišćenju smernice 9.11 tehnologije gradnje korisno je da projektanti prouče i konsultuju:

SRDM	9	1	Opšta smernica za projektovanje mostova
SRDM	9	2	Noseći (statički)sistemi mostova
SRDM	9	3	Koncipiranje, projektovanje i konstruisanje mostova
SRDM	9	4	Manji mostovi i podvožnjaci
SRDM	9	5	Nadvožnjaci
SRDM	9	6	Mostovi i vijadukti
SRDM	9	7	Rasponske konstrukcije betonskih mostova
SRDM	9	8	Rasponske konstrukcije spregnutih mostova
SRDM	9	9	Stubovi mostova
SRDM	9	10	Prednaprezanje mostova

Zakoni i pravilnici Republike Srbije od važnosti za korišćenje ove smernice:

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

Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za prednapregnuti beton	Sl. list SFRJ 51/71	1971	Rule Book on Technical Measures and Conditions for Prestressed Concrete
Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličina opterećenja mostova	Sl. list SFRJ 1/91	1991	Rule Book on Technical Normatives for Bridge Loading
Pravilnik o tehničkim normativima za eksploataciju i redovno održavanje mostova	Sl. list SFRJ 20/92	1992	Rule Book on Technical Normatives for Bridge Exploitation and Routine Maintenance
Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata	Sl. list SFRJ 15-295/90	1990	Rule Book on technical Normatives for Foundation of Civil Structures
Pravilnik o tehničkim intervencijama i uslovima za montažu čeličnih konstrukcija	Sl. list SFRJ 61-899/86	1986	Rule Book on Technical Intervention and Condition for Assembling of steel Structures

Evropske norme EC1-9 detaljno navedene u SRDM 9.1 Opšta smernica za projektovanje mostova.

### 9.11.1.3 Terminologija

**Objekat** jeste građevina koja spojena sa tlom predstavlja fizičku, funkcionalnu, tehničko-tehnološku celinu.

**Tehnička dokumentacija** jeste skup projekata koji se izrađuje radi: utvrđivanja koncepcije objekta, razrade uslova, načina gradnje objekta i za potrebe održavanja objekta.

**Gradnja objekta** jeste skup radnji koji obuhvata: prethodne radove, izradu i kontrolu tehničke dokumentacije, pripremne radove za gradnju, gradnju objekta i stručni nadzor u toku građenja objekta.

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

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

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

**Mostovi u užem značenju** su objekti koji služe za prelaz puteva preko vodenih prepreka (potoci, reke, kanali, jezera, morski zalivi)

**Vijadukti** su objekti koji služe za prelaz puteva preko prirodnih, pretežno suvih prepreka odnosno dolina. Razlikujemo dolinske vijadukte koji premošćuju doline i padinske vijadukte koji su locirani paralelno sa dolinom.

**Glavna konstrukcija mosta** premošćuje se aktivno korito širokih (plovnih) reka.

**Inundacione konstrukcije** premošćuju inundacione otvore između aktivnog korita i odbrambenih nasipa.

**Nadvožnjaci** su objekti koji denivelisano prevode puteve preko AP ili VP ili železničke pruge.

**Podvožnjaci** su objekti koji denivelisano prevode puteve ispod AP ili VP. ili železničke pruge.

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

**Potpurnu konstrukciju** mostova čine:

- krajnji - obalni stubovi sa krilnim zidovima
- srednji - rečni stubovi.

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

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

**Srednji ili rečni stubovi** podupiru rasponsku konstrukciju objekta između krajnjih stubova, ako gornja konstrukcija ima dva ili više raspona.

**Temeljenje mostova** može da bude:

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

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

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

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

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

**Mostovi sa kosim zategama** su sistemi kod kojih je gredna rasponska konstrukcija, uz pomoć kosih kablova – zatega obešena (elastično poduprta) na pilone.

**Fiksna (nepokretna) skela** od čeličnih nosećih elemenata koja se koristi za kraće objekte ili za duže objekte koji se grade po sistemu polje po polje.

**Pokretna skela** je čelična oprema koja omogućuje gradnju RK dugih mostova proizvodnje geometrije sa kretanjem po vrhu stubova ili sa osloncima na dnu stuba.

**Postupno potiskivanje** je tehnologija gradnje dugih betonskih RK gde se u oplati pred objektom betoniraju, prednaprežu i potiskivanjem montiraju na stubove.

**Slobodna konzolna gradnja** je postupak gradnje betonskih (i čeličnih) RK mostova velikih raspona od srednjih stubova prema sredini .

**Montažno monolitizirana gradnja** RK od prefabrikovanih nosača koji se montiraju,

monolitiziraju i sprežu u kontinualnu ili okvirnu RK.

**Montaža RK čeličnih (spregnutih) RK objekta** po postupcima koji su prilagođeni karakteristikama mosta, lokacije i opreme izvođača.

#### 9.11.1.4 Korišćene skraćenice

AP – autoput  
 AB – armirani beton (armirano betonski)  
 ABP – armirani betonski prednapregnuti (most, konstrukcija)  
 VP – višetračni (brzi) put  
 M/R/L – magistralni, regionalni i lokalni putevi  
 BM – betonski most  
 SM – spregnuti most  
 RK – rasponska konstrukcija  
 RKBM – rasponska konstrukcija betonskih mostova  
 SRPS – srpski standard  
 EC – Evrokod – evropski standard  
 EN – evropska norma

#### 9.11.2 UOPŠTENO O GRADNJI MOSTOVA

Trajnost mostova i troškovi održavanja postaju osnovna mera za ocenu vrednosti. Monolitna gradnja armiranih betonskih konstrukcija dobijaju na značaju i treba podržati njihovu reafirmaciju, uz puno uvažavanje uslova tržišta i nivoa nauke i tehnologije.

Kreativna intervencija na zatečeno stanje odvija se u tri pravca:

- u primeni neprekinutih, kontinualnih, okvirnih – integralnih sistema,
- u smanjenju sopstvene težine rasponskih konstrukcija,
- u racionalnom rešenju skela za betoniranje rasponskih konstrukcija mostova.

Tehnologije gradnje mostova su se u poslednjih pedeset godina menjale, dopunjavale i inovirale. Uvedeni su u praksu novi postupci gradnje koji su usklađivali želje i ideje konstruktora mostova sa opremom izvođača, rokovima i cenama. Napredak je sledio ako je izvođač osetio i svoj dugoročni interes u novim idejama konstruktora.

Razvoj postupaka gradnje mostova kretao se prema skraćenju vremena gradnje i nezavisnosti oblika, zauzetosti terena i terenskih uslova. U gradnju objekata unosi se

sve više ujednačenih elemenata i opreme. Tokom izrade projekta mosta projektant treba da upozna i prouči tehničke, konstrukcione izvođačke i druge osobine opreme i postupke gradnje koje ta oprema omogućuje. Savremene tehnologije gradnje objekata povezane su sa nosećim sistemima i razvijale su se sa razvojem tih nosećih sistema.

Težište smernice je na gradnji RK grednih i okvirnih sistema i nadlučnih konstrukcija lučnih mostova koje čine više od 80 % svih mostova.

Gradnja mostova je posebna i opsežna oblast sa nizom specifičnosti i predmet je posebnih priručnika i udžbenika. Ova smernica ima za cilj da projektantima mostova pruži osnovne podatke o savremenim postupcima i tehnologijama gradnje RKBM. Težište smernice je na gradnji monolitnih AB i AB prednapregnutih RK koje znatno utiču na povećanu trajnost mostova i smanjenje troškova održavanja.

Kod gradnje manjih objekata do 1000 m<sup>2</sup> površine i objekata velike površine u sklopu saobraćajnih petlji, konstrukcije se betoniraju i zatežu na fiksni skelama, po sistemu polje po polje jer tako može da se realizuje prostorno složena geometrija RK, da se ostvari puna monolitnost, veći rasponi, manja konstrukciona visina i zadovoljavajući vizuelni utisak. Ujednačenim rešenjima čeličnih prenosnih skela i oplata znatno se smanjuje njihov udeo u ceni betona.

Gradnja RKBM na pokretnoj skeli se koristi za gradnju mostova i vijadukata dužine veće od 500 m sa složenom geometrijom (kontrakrivine i vitoperenje) za raspone od 25 do 45 m. Težina opreme je približno 450 do 500 t pa je nabavka smisljena samo ako izvođač ima ugovorene poslove za najmanje tri ili četiri duga objekta.

Gradnju RKBM u privremenoj radionici pred objektom i potiskivanje gotovih segmenata dužine 15 – 30 m uz dobru organizaciju traje sedam dana uz mali broj zaposlenih radnika. Tehnologija zahteva relativno jeftinu specifičnu opremu i mali broj zaposlenih veoma stručno osposobljenih građevinskih radnika.

Slobodna konzolna gradnja RK najvećih raspona od 70 – 200 m ima dugu tradiciju i uspešnu primenu na ovim prostorima. Oprema, jedan ili dva para kaveza su manje težine i jeftinije su. Dve simetrične lamele

jednog stubnog mesta mogu da se izgrade za sedam do osam dana.

Montažno monolitizirana gradnja RKBM od prefabrikovanih AB prednapregnutih nosača raspona od 15 do 35 m ima određena ograničenja iz iskustva i grešaka iz proteklih godina. Raspon nosača ne sme da bude veći od 35 m. Objekti izgrađeni po toj tehnologiji ne bi trebalo da budu duži od 250 – 300 m. Zbog krivine na mostu treba da bude radijus veći od 500 m, a ugao zakošenja manji od 60°.

Preporučuju se T nosači sa širokim tankim gornjim pojasom i punim rebrom najmanje širine 40 cm i koji se dobro sprežu sa betonom kolovozne ploče i produžavaju posredstvom poprečnih nosača oslanjanja koji se betoniraju na licu mesta.

U smernici nije detaljnije obrađena segmentna gradnja RK mostova i vijadukata iz više objektivnih razloga:

- segmentna gradnja ne obezbeđuje monolitne RK jer su radne spojnice između segmenata na svaka 2 do 3 m,
- spoj dva segmenta je potencijalno mesto za proces karbonizacije i prisutnost hlorida u zoni kablova,
- segmentna gradnja zahteva suštinski veću kontrolu i tačnost geometrije segmenata,
- zbog prekida armature u spojnica preseci su bitno manje duktilni i kritična je smičuća nosivost spojeva,
- zbog prisustva epoksida na spoju segmenata manja je otpornost RK na požar.

Smernica ne bi smela da ograničava ideje i kreativnost projekatanta i graditelja mostova. Bitno je da je svaku koncepciju dispozicionog rešenja i detalja moguće izgraditi uz minimum rada i materijala uz kontrolu i dokaz nosivosti i stabilnost za sve faze gradnje i za fazu eksploatacije objekata.

### **9.11.3 GRADNJA RK BETONSKIH MOSTOVA NA FIKSNOJ I PRENOSIVOJ SKELI**

#### **9.11.3.1 Uvod**

I pored znatne primene savremenih tehnologija monolitne i montažno monolitizirane gradnje RK i dalje se grade mostovi od armiranog i prednapregnutog betona na skelama. Kod objekata u sastavu saobraćajnih petlji sa složenom geometrijom



neophodno je izvođenje na licu mesta primenom skela. Starija rešenja skela sa drvenom građom smanjivala su konkurentnost ovih konstrukcija i produžavala rokove gradnje.

Drvo kao plemenit, deficitaran i skup materijal koji nije mogao da se tipizira kao oprema i koristi više od dva do tri puta zamenjen je čelikom. Za manje mostove na suvim ravnim preprekama koriste se cevne fasadne skele. Za veće mostove preko dubokih prepreka razvijeni su sistemi čeličnih skela sa rešetkastim nosačima raspona od 10 do 30 m, sa čeonim cevnim stubovima većeg profila i ukrućenjima od cevi manjeg profila.

Tehnologija gradnje betonskih mostova polje po polje je racionalna i primenjuje se i za objekte dužine do 500 m sa rasponima do 30 (40) m.

Projekat skele i oplata izrađuje izvođač, pregleda i overava projektant i nadzorni organ. Projekat skele mora da obezbedi stabilnost objekta u toku betoniranja i stvrdnjavanja betona. Projekat sadrži i nadvišenja, čime se obezbeđuje projektovana geometrija objekta. Montirana skela i oplata moraju da budu pregledani i overeni pre početka ugrađivanja armature i kablova.

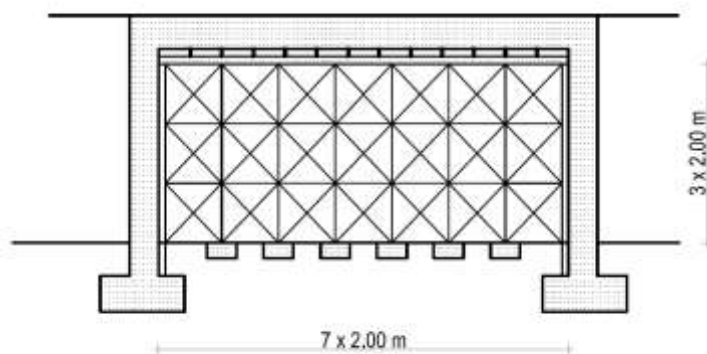
Betoniranje može da počne tek posle preuzimanja armature i kablova i uz potvrđeni projekat betona i plana betoniranja te svim atestima za upotrebljene materijale. Plan betoniranja je dobar, ako ima što manje radnih spojeva, posebno u nivou kolovozne ploče.

Ako su svi radovi na montaži skele i oplata, ugrađivanju armatura i kablova, betoniranju, ubrizgavanju kablova i negi betona izvedeni po pravilima i u skladu sa savremenim saznanjima tehnike građenja, kod takve rasponske konstrukcije objekta ne bi smelo da dođe do pojave ozbiljnijih slabih tačaka.

Postupak gradnje na nepomičnoj skeli ne postavlja uslove u pogledu oblika i dimenzije poprečnog preseka i geometrije gornje konstrukcije što ovoj tehnologiji daje prednost. Komplikovana geometrija, posebno zakruženost i zakrivljenost u velikoj meri povećava cenu skele i oplata.

### 9.11.3.2 Fiksna skela za kraće (manje) objekte

Za gradnju betonskih RK podvožnjaka, kraćih nadvožnjaka, mostova i prolaza za pešake i bicikliste koriste se fasadne čelične skele od cevi  $\phi$  48,3 cm ili drugih profila. Cevi se montiraju u razmaku 2,0 m sa dijagonalnim ukrućenjima da bi se sprečilo izvijanje. Vertikalne cevi se temelje na montažnim temeljima malih dimenzija koji se polažu na pripremljenu dovoljno kompresovanu podlogu koja ne dozvoljava sleganje. Na vrhu cevne skele su podužne i poprečne drvene ili čelične grede. Elementi opreme fasadnih skela omogućuju prilagođavanje geometriji objekta, regulisanju nadvišenja i profilu prepreke. Spojnice – elementi skele moraju da budu dovoljno pritegnuti i kontrolisani da ne dođe do popuštanja na spojnica i time povećanja dužine izvijanja cevi.



Slika 9.11.1: Čelična cevna „fasadna“ skela za manje objekte

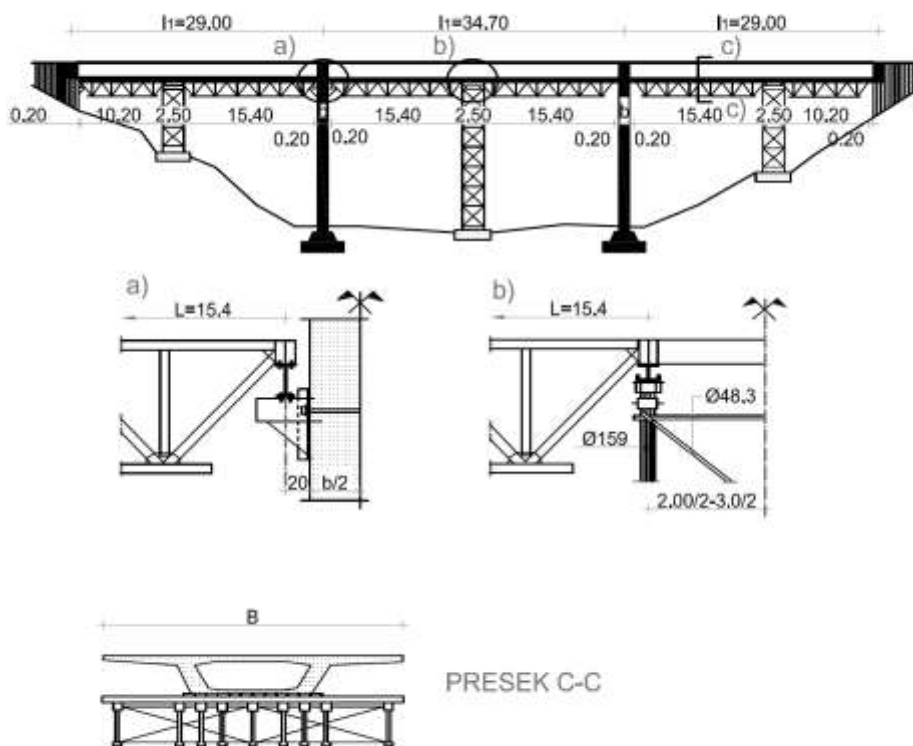
Za gradnju RKBM, vijdukata, nadputnjaka dužine do 100 (150) m preporučuje se korišćenje čelične fiksne skele od tipiziranih nosećih elemenata, tako da se kompletna RK betonira u jednoj fazi.

Opremljena građevinska preduzeća imaju ili bi trebalo da imaju čelične rešetkaste modifikovane nosače sa osnovnim modulom 5 – 10 m koji formiraju nosači  $n \times (5 - 10)$

montažnim vezama čime se uspostavlja kontinuitet. Nosači se poprečnim i podužnim spregama od cevi  $\phi$  48,3 cm povezuju u stabilnu celinu. Broj nosača zavisi od težine rasponske konstrukcije i raspona i nosivosti nosača. Čelični nosači skele se oslanjaju na stubove objekata preko čeličnih montažno-demontažnih konzola ili preko tornjeva skele. Tornjevi se formiraju od dva reda čeličnih stubova većeg dijametra ( $\phi$  159) na razmaku 2,0 – 3,0 m sa ukrucenjima od cevi u obe ravni. Na vrhu stubova su elementi za

regulisanje visine, a na dnu papuča za vezu sa betonskim temeljom.

Na slici 9.11.2 je dat odgovarajući primer rešenja skele za objekat dužine 92,7 m širine približno 10 m sa sandučastom rasponskom konstrukcijom. Noseći čelični rešetkasti nosači raspona 10 i 15 m su formirani od osnovnog modula raspona 5,0 m, visine 1,50 m. Na preseku c – c vidi se broj i raspored nosača u poprečnom pravcu, a na detaljima „a“ i „b“ način oslanjanja na stub i jaram.



a) Detalj oslanjanja na stubovima mosta

b) Detalj oslanjanja na čeličnom jarmu

PRESEK C-C: Presek RK i čeličnih nosača skele

Slika 9.11.2: Fiksna čelična skela za mostove do 100 m dužine

### 9.11.3.3 Prenosiva skela za gradnju RK polje po polje

Za betonske RK veće dužine i raspona od 20 do 30 (35) m sa složenom geometrijom (krivine manjih radijusa, kontra krivine, vitoperenje, promenljive širine) posebno kod objekata na saobraćajnim petljama primenjuje se prenosna skela i gradnja „polje po polje“ (slika 9.11.3).

Osnovni element opreme su čelični rešetkasti nosači modularne ili fiksne dužine od 10 do 30 m koji se oslanjaju na stubove objekta i (ili) na privremene oslonce. Dobro rešenje je da se rasponi objekta usklade sa

rasponima nosača, tako da nisu potrebni privremeni oslonci izvan stubova objekta.

Broj nosača određuje se prema težini RK i nosivosti nosača za izabrani raspon. U poprečnom pravcu nosači se raspoređuju u skladu presekom RK. Sa čeličnim cevima manjeg profila formiraju se poprečne i podužne sprege.

Elementi opreme za oslanjanje nosača na čelične konzole iz stubova objekta omogućuju jednostavnu montažu i demontažu i regulisanje visine. Nad nosačima su drvene tipizirane grede i drvena oplata. Pod poprečnim drvenim gredama treba ugraditi elemente za obezbeđenje potrebnog nadvišenja u zavisnosti od

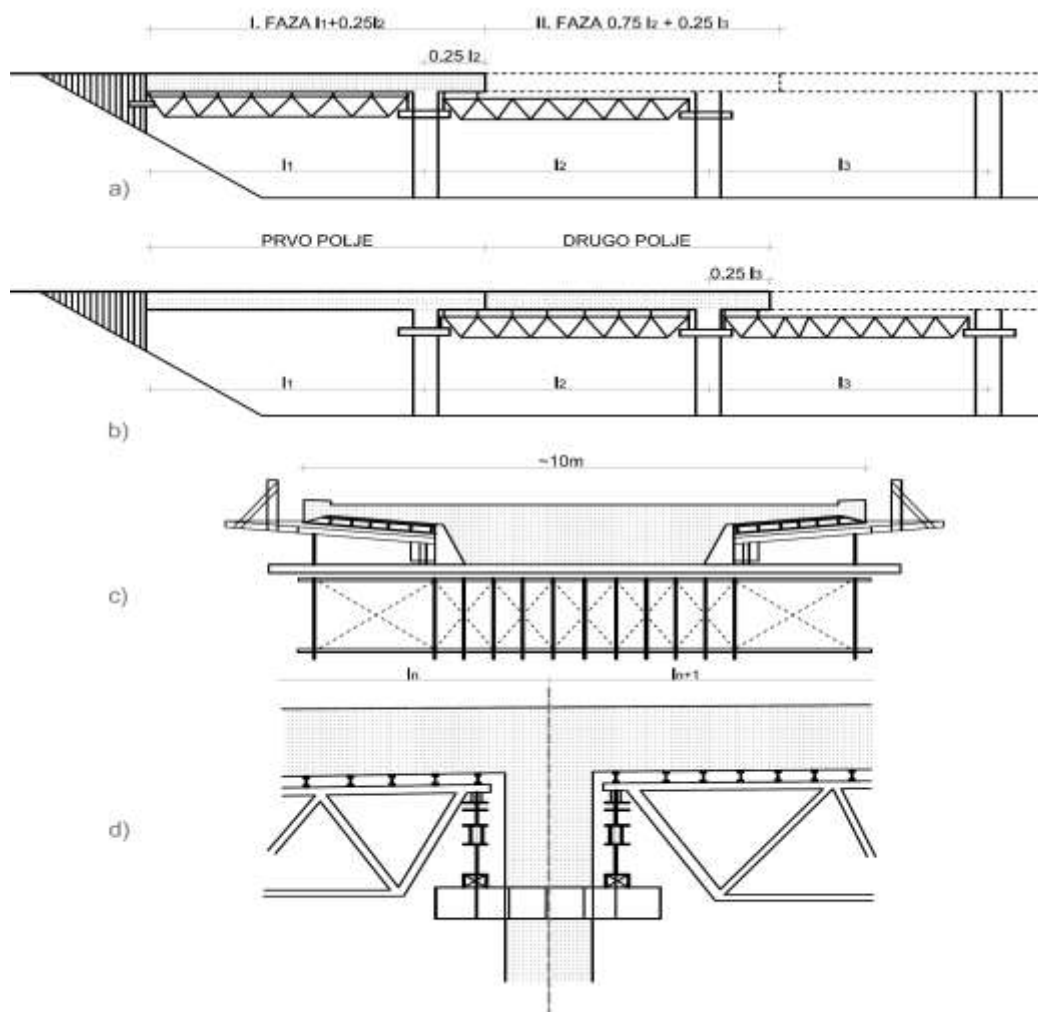
raspona nosača skele. Ako se moraju da se izgrade privremeni oslonci – jarmovi unutar raspona, primenjuju se rešenja naznačena na slici 9.11.2.

Kada se primenjuje postupak gradnje „polje po polje“ sa prenosivom skelom, izvođač treba da raspolaže opremom za gradnju skela za najmanje dva polja. Ujednačeni elementi skele omogućuju brzu montažu i demontažu.

Na slici 9.11.3a je šematski naznačena 1. faza skele za betoniranje prvog polja i  $0,25 l_2$

drugog polja, a na slici 9.11.3b prenos skele iz prvog polja u treće polje i betoniranje 2. faze. Uz dobru organizaciju i kompletnu odgovarajuću opremu i osposobljene radnike jedno polje može da se završi za 10 (7) dana.

Na početku 1. faze zatežu se kablovi 1. faze koji su potrebni za prijem momenata u prvom polju. Kablovi za 2. fazu se preklapaju nad prvim međuosloncem i prekidaju (ne više od 50 %) na čelu 1. faze i taj princip vođenja kablova se nastavlja (slika 9.11.3.e).



- a) Prva faza betoniranje prvog polja i  $0,25 l_2$  drugog polja
- b) Druga faza betoniranje drugog polja o  $0,25 l_3$  trećeg polja
- c) Presek A – A RK i skele
- d) Detalj oslanjanja tipskih čeličnih rešetaka na stubovima
- e) Primer kablova za prvi radni odsečak (1. faza) pri rasponu 30 m

Slika 9.11.3: Prenosna čelična skela za gradnju RKBM polje po polje

#### **9.11.4 GRADNJA RK BETONSKIH MOSTOVA NA POKRETNOJ SKELI**

##### **9.11.4.1 Uvod**

Sistemi pokretnih čeličnih skela nastali su pre 50 godina u periodu intenzivne gradnje autoputeva u Njemačkoj. Razvijena čelična industrija ponudila je rešenja teških pokretnih skela za mostove i vijadukte raspona 35 – 50 m i dužina većih od 500 m. Velika težina skele i rad prilikom transporta i montaže, a kasnije kod demontaže su razlog zbog kojih ova tehnologija nije racionalna za kraće objekte i manje raspone. Težina pokretnih skela je od 400 do 500 t i visoke cene su bile prihvatljive samo za izvođače koji su imali zagarantovan posao na gradnji više dugih objekata. Smanjenje intenziteta gradnje AP u zapadno-evropskim zemljama uticalo je da se skele iznajmljuju izvođačima koji nemaju poslovni interes da ih nabavljaju. Izdvajaju se dva sistema ovih skela: pokretne skele na vrhu visokih stubova i pokretne skele na osloncima uz niske stubove. Veća primena gradnje RK mostova postupkom potiskivanja i gradnje polje po polje sa prenosnim skelama smanjili su konkurentnost primene pokretnih skela. Potencijalni izvođači odlučuju da iznajme pokretne skele ako se opredele za njihovu primenu.

Betoniranje na pokretnoj skeli polje za poljem omogućuje relativno brzu gradnju objekata sa napredovanjem 100 – 130 m mesečno ili približno jedno polje sedmično uz prethodno izrađene armaturne koševе i sve druge pripreme.

##### **9.11.4.2 Pokretna skela na vrhu visokih stubova**

Noseći element pomične skele sastoji se od dva prostorna punozidna ili rešetkasta nosača sa dvostrukom dužinom polja, minimalno 1,5 dužine polja i sistema za

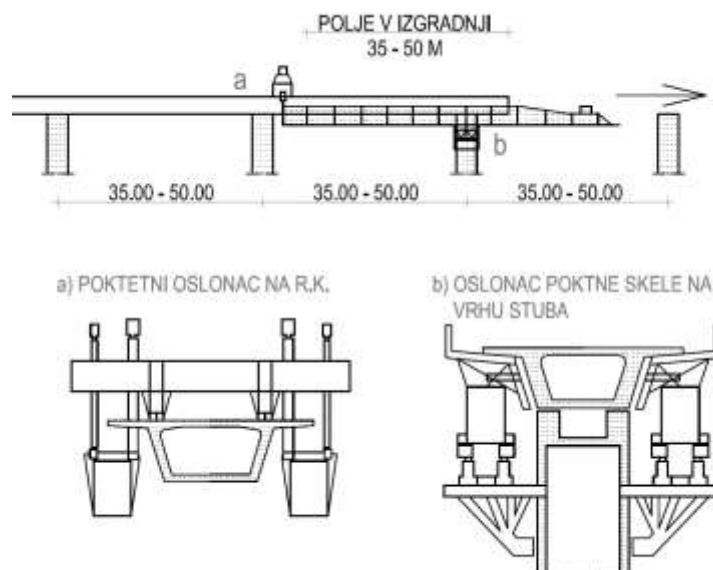
ankerisanje. Pokretni nosači su zglobno povezani sa čeličnim elementima oplate koji se otvaraju prilikom pomicanja skele, a zatvaraju pre ugrađivanja armature, kablova i betoniranja. Oslonci pokretne skele su čelični elementi koji su konzolno poduprti i povezani sa vrhom stubova.

Na tržištu može da se dobije više različitih sistema pomičnih skela sa različitim karakteristikama i zahtevima – uslovi u pogledu oblika i dimenzija stubova i poprečnog preseka RK.

Pokretna skela ima sopstvenu tehničku i atestnu dokumentaciju koja treba da se pregleda pre svake upotrebe. Obavezan je pregled i atestiranje opreme pre njene upotrebe čime se sprečavaju oštećenja i posledice koje bi mogle da utiču na stabilnost mosta u toku gradnje.

Kod koncipiranja i izrade projekta mosta projektantu moraju da se dostave svi podaci o pomičnoj skeli kako bi se projekat izradio u skladu sa mogućnostima, dimenzijama i uslovima koji omogućuju upotrebu skele. Poželjni su stubovi pravougaonog konstantnog preseka i rasponska konstrukcija konstantnog preseka sa podužnim nagibom do 4 %, sandučastog preseka ili sa dva relativno široka nosača bez poprečnih nosača. Otvori na stubovima i gornjoj konstrukciji koji su potrebni za funkcionisanje pomične skele moraju se da se predvide i unesu u izvođački projekat.

Projektant objekta treba statički da proveri i ojača konzolu prethodne faze betoniranja RK jer se tu oslanja skela za sledeću fazu (slika 9.11.4). Pre pomeranja skele sa hidrauličkim presama pokretna konstrukcija se spusti za 20 cm, otvara se spoljašnja skela i konstrukcija se pokreće do oslanjanja na sledeći stub. Po oslanjanju pokretne skele oslonac „A“ se pomera u novi položaj na konzolu izbetonirane faze.



Slika 9.11.4: Pokretna skela na vrhu visokih stubova dugog vijadukta

#### 9.11.4.3 Pokretna skela na osloncima uz niske stubove

Kod gradnje vijadukata i mostova manje visine stubova primenjuje se pokretna skela sa osloncima uz stubove. Čelične pokretne skele čine dva čelična prostorna nosača dužine raspona od 1,30 do 1,50 m sa nastavcima – kljunovima na kraju manjeg preseka i nosača manje visine koji omogućuje pokretanje – premoščavanje skele sa raspona na raspon. Na vrhu nosača su elementi opreme i oplata za betoniranje konzola RK. Rasponska konstrukcija raspona 30 – 35 m sa pločastim presekom su poželjne za ovaj tip pokretne skele.

Oslonci skele koriste proširene delove temelja stubova i ne zavise od preseka

##### a) Podužni presek skele

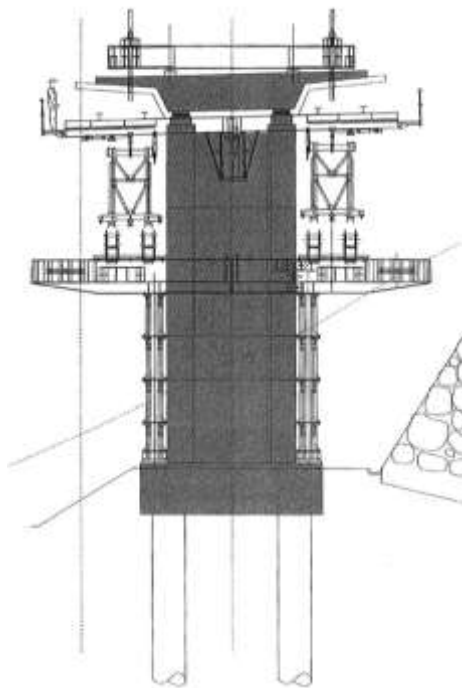


stubova sa kojima se povezuju radi boljeg ukrućenja. Vertikalne cevi oslonaca skele su modularne dužine da bi mogle da se prilagode promenljivoj visini stubova.

Po betoniranju i prednaprezanju polja u gradnji oplata se spušta i poprečno otvara za širinu stuba, tako da je omogućeno premeštanje skele na sledeće polje. Premeštanje skele je u celini mehanizovano i obavlja se u roku od par sati. Kompletiranje jednog takta (polja) traje jednu nedelju.

Jedna od evidentnih prednosti tehnologije sa pokretnim skelama je minimalni broj radnih spojeva, t. j. jedan spoj u polju u području nultih tačaka gde se izvode i nastavci kablova.

## b) Poprečni presek pokretne skele sa osloncima uz stubove



Slika 9.11.5: Pokretna skela na osloncima uz niske stubove vijadukta

### 9.11.5 GRADNJA RK MOSTOVA POSTEPENIM POTISKIVANJEM

#### 9.11.5.1 Uvod

Postupak potiskivanja prednapregnutih armiranih betonskih rasponskih konstrukcija mostova i vijadukata nastao je po uzoru potiskivanja i montaže čeličnih grednih mostova. Postupak se upotrebljava, razvija, inovira i modifikuje više od 45 godina. Osmišljen je u Nemačkoj (autor prof. F. Leonhardt), a nešto kasnije počinje da se primenjuje u svim razvijenim evropskim državama. Gradnja po ovom postupku ima smisla za rasponne od 20 do 50 m i ukupne dužine mostova od 200 do 1000 (3000) m.

Brzina gradnje zavisi od dužine segmenta koji se u jednom komadu betoniraju u privremenoj radionici pred objektom. Mesečni učinak se kreće od 80 do 120 m mosta.

Betonska RK gradi se u segmentima na stalnom proizvodnom mestu, radionici ispred objekta gde se posle prednaprežanja segmenta obavlja potiskivanje hidrauličkim presama RK u novi položaj, čime se oslobađa radni plato za izradu novog segmenta.

Rasponska konstrukcija na svom putu prolazi kroz različite statičke sisteme, kao konzola,

slobodno oslonjen nosač i na kraju kao kontinualni nosač. U istom preseku pojavljuju se negativni i pozitivni momenti savijanja u toku gradnje. Za preuzimanje statičkih uticaja u toku gradnje predviđaju se centrični kablovi koji preuzimaju uticaje težine same RK. Što se tiče saobraćajnog opterećenja, mogu da se predvide spregnuti ili nespregnuti parabolički kablovi u rebrima sandučastih preseka ili poligonalni nespregnuti kablovi unutar sandučastog preseka (slika 9.11.8).

Za gradnju RK potiskivanjem poželjna je osovina objekata u pravcu ili konstantnom radijusu bez vitoperenja poprečnog preseka. Razvoj tehnologije sada omogućuje potiskivanje osovine u kombinaciji pravca, krivine i prelaznica sa zamenljivim radijusom i sa promenljivim poprečnim nagibom. Nivelete mogu da budu u konstantnom nagibu do 4 % ili ukoliko se to zahteva, u vertikalnoj krivini.

Za gradnju potiskivanjem poželjni su pravougaoni ili trapezoidni sandučasti preseki sa horizontalnom donjom pločom. Moguće je potiskivanje i pločastih preseka i preseka sa širokim nosačima. Uobičajena ukupna širina preseka je 10 – 14 (22) m.

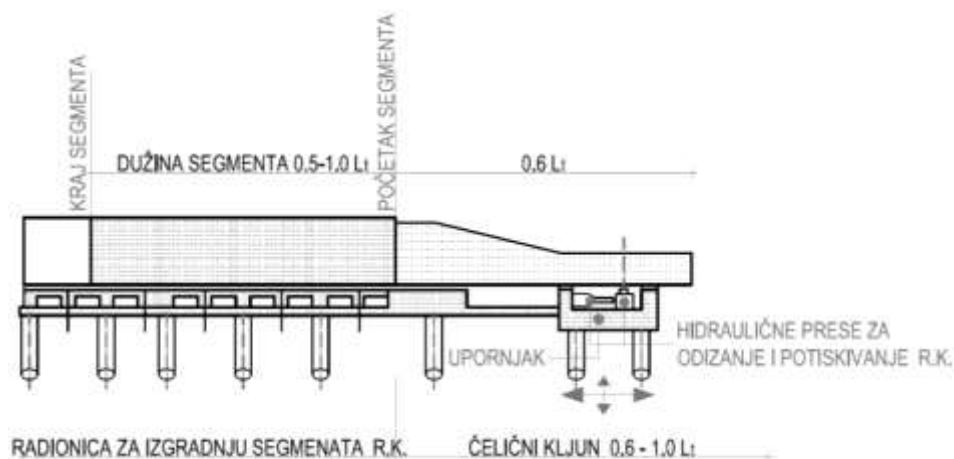
Tehnologija potiskivanja zasniva se na specifičnoj opremi, školovanom kadru i stručnim radnicima sa iskustvom, dobro obrađenom izvođačkom projektu i stručnom nadzoru.

Relativno jeftina oprema, mali broj zaposlenih radnika i ponavljanje faza građenja su prednosti ove tehnologije koje se odražavaju i na ukupnu cenu 1 m<sup>2</sup> objekta.

Gradnja sa postepenim potiskivanjem predviđa da se RK izrađuje u segmentima na stalnom proizvodnom mestu, pa se posle prednapreznja potiskuje hidrauličkim presama u novi položaj i time se oslobađa radni plato i oplata za izradu novog segmenta.

#### 9.11.5.2 Oprema i postupak izrade segmenata za postupno potiskivanje RK mostova

Gradnja RK betonskih mostova i vijadukata temelji se na sledećoj tehnološkoj opremi (slika 9.11.6):



Slika 9.11.6: Šema radionice za izradu AB segmenata, čeličnog kljuna i hidrauličkih presa za potiskivanje

Radionica - proizvodni plato za betoniranje dužine od 25 do 40 je od čeličnog roštilja, koji je oslonjen na nedeformabilne betonske temelje ili duboko temeljen na bušenim šipovima. Plato mora da bude stabilan, otporan na deformacije i prilagodljiv za promenljive sandučaste preseke RK. Proizvodni plato se formira na oko 15 m iza oporaca mostova i vijadukata sa one strane koja je na višoj koti nivelete i ima bolje saobraćajne veze sa pristupnim putevima.

Izvođač radova treba za radionicu da izradi poseban izvođački i radionički projekat koji pregledaju i potvrđuju investitor i nadzor.

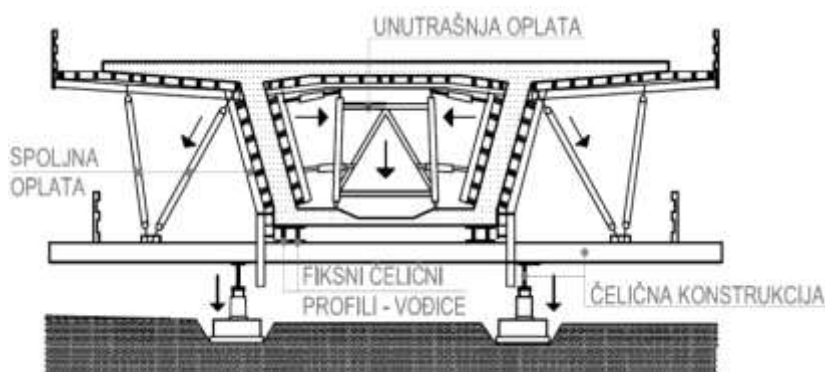
Na slici 9.11.7 dat je poprečni presek sandučaste trapezoidne RK sa šemom unutrašnje i spoljašnje oplata. Betoniranje

- radionica za izradu betonskih segmenata – proizvodni plato sa, oplatom, čeličnim roštiljem i sinhronim hidrauličkom opremom za spuštanje oplata,
- oprema za prednapreznja segmenata RK,
- oprema za postepeno potiskivanje,
- čelična konzolna konstrukcija – kljun,
- naprave za pridržavanje RK u toku potiskivanja,
- klizna privremena ležišta na stubovima sa teflonskim ulošcima,
- bočne hidrauličke vođice sa sensorima na stubovima i platforme na vrhu srednjih stubova za prisustvo radnika u toku postepenog potiskivanja.

sandučastog preseka može da se obavi u dve faze. Prva faza obuhvata donju ploču i rebra, a druga gornju ploču sa konzolama. Ili u tri faze: donja ploča, rebra, pa gornja ploča.

Čelična konstrukcija radnog platoa postavljena je na hidrauličke prese kojima se reguliše geometrija segmenata.

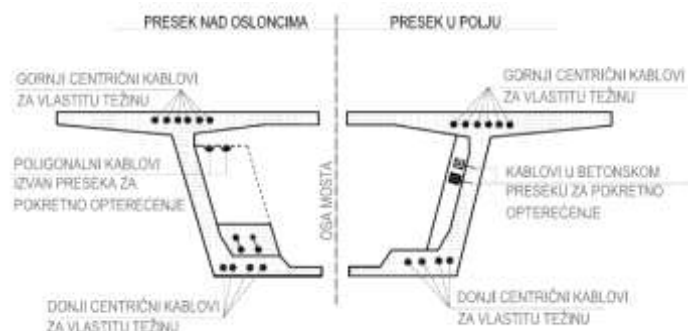
Geometrijski položaj segmenata RK je tačno određen geometrijom postolja na radnoj platformi. Na radno postolje postavljaju se i pričvršćuju oplata donje ploče, rebara i oplata konzola sandučastog preseka. Oplata skele mora da bude konstruisana tako da se jednostavno oslobađa hidrauličkim presama. Unutrašnja oplata je konstruisana tako da se kao celina montira i demontira.



Slika 9.11.7: Unutrašnja i spoljašnja oplata sandučastog AB segmenta u radionici

Kablovi za prednaprezanje mogu da prolaze kroz rebra i ploče, van preseka ili kombinovano, što zavisi od raspona i odluke projektanta. Preporučuje se vođenje kablova kroz ploče. Na slici 9.11.8 prikazano je uobičajeno rešenje položaja kablova iznad oslonaca i u poljima sandučaste RK. Pored pravih kablova u gornjoj i donjoj ploči

prikazani su i spoljašnji nespregnuti kablovi unutar preseka za saobraćajno opterećenje ili spregnuti (nespregnuti) kablovi u rebriima betonskog preseka. Kablovi se nastavljaju na mestima gde su momenti najmanji. U jednom preseku ne sme se nastavljati više od polovine kablova. Nije dozvoljeno spajanje kablova u gornjoj kolovoznoj ploči preseka .



Slika 9.11.8: Položaj kablova u sandučastom preseku RK

Za fazu potiskivanja projektuju se ravni kablovi u gornjoj i donjoj ploči, pa je presek centrično prednapregnut. Polovina tih kablova završava se na kraju segmenta, a druga polovina proteže se do sledeće radne spojnice. Tako se zadovoljava uslov prelaženja najmanje 50 % kablova preko radne spojnice. Svi ovi kablovi produžavaju sa kotvama za produžavanje i prednaprežu se jednostrano.

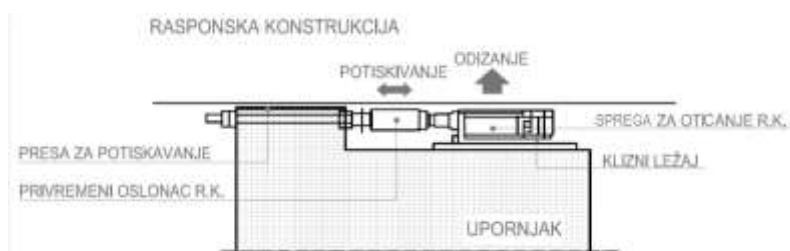
Druga faza kablova za pokretno opterećenje ugrađuje se tek kada je most potisnut u svoju konačnu poziciju. Ako je most duži, u RK treba predvideti dodatna sidrišta za kablove 2. faze. Na sidrištu se kablovi sa jedne strane mosta preklapaju sa kablovima sa druge strane. Po potrebi se projektuje toliko dodatnih sidrišta kablova, da dužina kablova bude manja od 100 m. (slika 9.10.24 Smernice 9.10 Prednaprezanje betonskih mostova.

Oprema za prednaprezanje je prema nekom od komercijalnih sistema za koji su se odlučili projektant i izvođač i koja ima Evropsku tehničku dozvolu za upotrebu u skladu sa Smernicom 9.10.

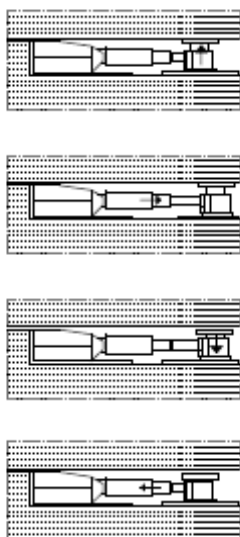
Opremu za postupno potiskivanje čine presa za podizanje RK, presa za potiskivanje RK, čelična konzolna konstrukcija – kljun, pomična klizna ležišta sa teflonskim ulošcima i bočne hidrauličke vutice.

Prese za dizanje i za potiskivanje smeštene su na vrhu krajnjih stubova (oporaca) koji su za tu namenu prilagođeni i statički kontrolisani na dodatne uticaje od potiskivanja (slika 9.11.9). Nakon završenog potiskivanja i demontaže presa oporac preuzima svoju osnovnu funkciju.





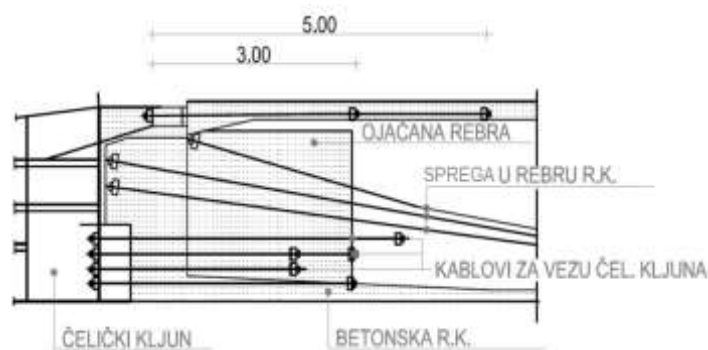
Slika 9.11.9: Položaj presa na oporcju za dizanje i potiskivanje RK



Slika 9.11.10: Faze rada hidrauličkih presa

Na slici 9.11.10 grafički su prikazane faze delovanja hidrauličkih presa. Strelica pokazuje pravce delovanja presa. Opremu za potiskivanje treba pregledati pre svake nove upotrebe, te proveriti projektnu i atestnu dokumentaciju, posebno one delove kod kojih je atest vremenski ograničen. Za duže objekte i veće sile potiskivanja primenjuje se posebna oprema za potiskivanje.

Čelična konzolna konstrukcija – kljun montira se i čvrsto spaja (ankeriše) za čeonu stranu prvog segmenta raspomske konstrukcije, na primer prema detalju na slici 9.11.11.



Slika 9.11.11: Primer detalja veze kljuna za čelo prvog segmenta RK

Konstrukcija spoja kljuna i čela RK zavisi od dimenzija i preseka kljuna i RK. Čelo RK se prilagođava karakteristikama kljuna. Kablovi za vezu su Dywidag šipke različite dužine kojima se postiže disperzija uticaja uklještenja. Dužina karakterističnog raspona kljuna iznosi od 0,6 do 1,0 raspona. Kljun smanjuje negativne momente u toku potiskivanja a time i uticaj vlastite težine RK. Čelični kljun je od punozidnih zavarenih I nosača ili rešetkastih nosača sa spregama. Na prednjem kraju kljuna su „saonice“, u novije vreme i dizalice pomoću kojih se reguliše naleganje na stubove.

Težina i cena opreme, a naročito kljuna pre svega zavisi od dužine segmenta koji se betonira u jednom komadu i od veličine raspona. Za raspone objekta veće od 45 – 50 m može da se razmisli o opravdanosti upotrebe pomoćnih stubova u sredini raspona i to rešenje uporedi sa povećanom količinom kablova za prednaprezanje i težinu kljuna.

Pomoćnu opremu pri postupku potiskivanja čine pomoćni klizni ležajevi, teflonske ploče i bočne vođice i naprava za pridržavanje RK.

Moguća su dva načina izrade kliznih ležišta:

- privremena ležišta koja se odstranjuju i zamenjuju konačnim,
- privremena ležišta koja se nadograđuju na konačna.

Konstrukcija kliznog ležišta zavisi od krutosti RK. Konstrukcije koje potiskujemo bez pomoćnih stubova su po pravilu dosta vitke, pa može da se primeni kruti tip ležaja (slika 9.11.12a).

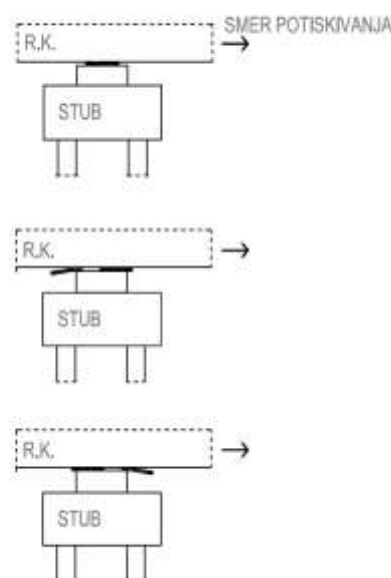
Ležište se sastoji od betonskog kvadra sa oblikovanom gornjom površinom radi lakšeg umetanja teflonskih kliznih ploča. Gornja površina se radi smanjenja koeficijenta trenja oblaže limom od hrom-nikla. Kod krutih konstrukcija čija je vitkost od  $1/12 - 1/14$  koristi se elastični tip ležišta (slika 9.11.12b). Za razliku od krutog ležišta dodaje se elastični međusloj od armiranog neoprena. U praksi se daje prednost privremenim ležištima koja se odstranjuju i zamenjuju konačnim.



Slika 9.11.12: Pomoćna klizna ležišta i teflonske ploče

Teflonske klizne ploče se pri potiskivanju umeću između donje ivice RK i pomoćnog ležaja. Napravljene su od armiranog neoprena, koji je presvučen slojem teflona

radi manjeg trenja. Klizne ploče se umeću tako da teflon dođe u kontakt sa poliranom, čeličnom pločom (teflon uvek mora da bude na donjoj strani).

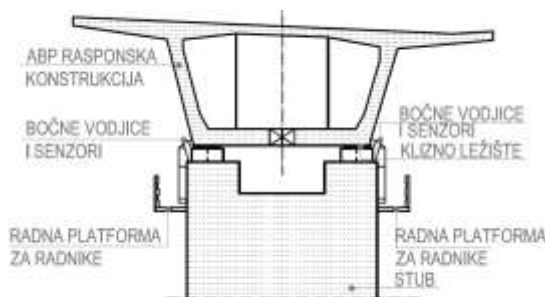


Slika 9.11.13: Postupak umetanja teflonskih ploča u toku potiskivanja

Kontaktni pritisak mora da bude manji od 12 Mpa, da ne bi došlo do proboja ležišta kroz donju ploču sanduka raspenske konstrukcije. Posle završenog potiskivanja podiže se raspenska konstrukcija, izvlače se privremena ležišta i ugrađuju konačna.

Za vođenje RK u podužnom pravcu u toku postepenog potiskivanja potrebno je da se ugrade hidrauličke bočne vođice. Između vođica i betonske konstrukcije postavlja se teflonski uložak da smanji trenje. Poseban značaj imaju vođice kod mostova u krivini. Vodičice se sastoje od čeličnih profila, koji se pričvršćuju za stubove i oporce sa Dywidag šipkama (slika 9.11.14).

U slučaju greške ili nepredviđenih okolnosti ugrađuju se senzori na vrhu stuba koji zaustavljaju proces postepenog potiskivanja. Bočne vođice i senzori ugrađuju se na oporcu i svim stubovima. Na vrhu stubova su radne platforme za radnike koji postavljaju teflonska ležišta i kontrolišu rad bočnih vođica.



Slika 9.11.14: Bočne vođice i radne platforme na stubovima

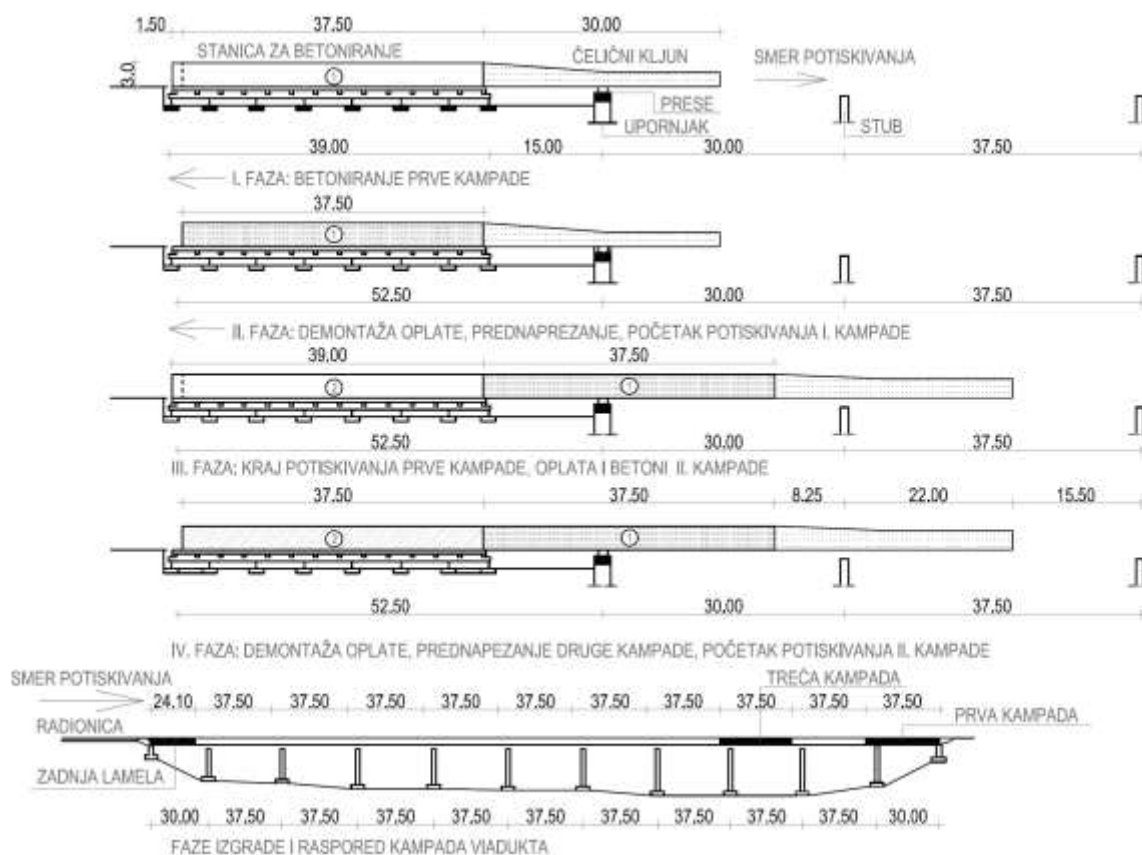
Naprave za pridržavanje RK u toku potiskivanja koriste se da spreče klizanje kod RK sa većim nagibom nivelete. Napravu čine Dywidag šipke  $\phi$  36 pričvršćene na čelični konzolni oslonac na donjoj površini RK. Konzolni oslonac je preko kablova povezan sa oporcem.

Za raspone veće od 45 do 50 m u fazi potiskivanja radi smanjenja vitkosti, primenjuju se pomoćni stupovi. Konstrukcija stubova zavisi od visine i opterećenja. Obično su to čelične konstrukcije, jer kasnije mogu opet da se koriste. Kod malih visina mogu da se primene i armirani betonski stupovi koji se nakon potiskivanja ruše. Kod specijalizovanih preduzeća za gradnju

mostova, stubovi su od montažnih elemenata.

Opremu za potiskivanje treba pregledati pre svake nove upotrebe, proveriti projektnu i atestnu dokumentaciju, posebno one delove kod kojih je atest vremenski ograničen.

Na slici 9.11.15 prikazane su četiri faze izrade i potiskivanja segmenata RK nekog konkretnog vijadukta sa 11 raspona  $30 + 9 \times 37,5 + 30 = 497,50$  m. Veća dužina čeličnog kljuna od 30,25 m (0,8 Lt) omogućila je segmente dužine 37,50 m tj. veličine raspona i brzu gradnju RK.



Slika 9.11.15: Gradnja RK vijadukta postepenim potiskivanjem

## 9.11.6 SLOBODNA KONZOLNA GRADNJA RKBM

### 9.11.6.1 Uvod

Zamisao o gradnji gornjih konstrukcija objekata sa slobodnom konzolnom gradnjom stara je 70 godina, a gradnja objekata po ovom postupku počela je pre 55 godina.

Tehnologija slobodne konzolne gradnje se primenjuje se za vijadukte i mostove sa tri ili više velikih raspona od 70 – 250 (300) m sa kojom se nezavisno od terena i prepreke premošćuju duboke i teško pristupačne vodene i suve prepreke. Na vrhu izgrađenih stubova betonira se bazni deo, i to predstavlja osnovu (sto). Na krajevima baznog dela montiraju se čelične pokretni kavezi koji služe za sukcesivno betoniranje, armiranje i prednaprezanje lamela dužine približno 5 m, simetrično sa obe strane stola.

Brzina gradnje je srednja, približno jedan par lamela dužine 2x5 m u jednoj nedelji. Upotreba četiri kaveza kod dužih mostova omogućuje napredovanje do 80 m mesečno. Postupak je najracionalniji za mostove dužine od 200 do 800 m.

U početku su se slobodno konzolno gradili mostovi sa tri uravnotežena raspona  $l_1: 2l_1:l_1$  simetrično sa dva srednja stuba. Niveleta u konveksnoj krivini i simetrična gradnja omogućavali su praćenje geometrije tako da reološki uticaji betona nisu bili presudni za niveletu mostova. U savremenoj mostogradnji se po ovoj tehnologiji grade kontinualni mostovi sa više različitih raspona i niveleta u nagibu.

Savremena statička i dinamička kompjuterska analiza može da prati stvarnu reologiju betona tako da se niveleta objekta gradi sa potrebnim nadvišenjem i usklađena je sa projektovanim niveletom.

Na ovim prostorima je izgrađen je veći broj mostova i viadukata po tehnologiji proste konzolne gradnje. Most Beška na Dunavu sa rasponom od 210 m bio je svetski rekord sedamdesetih godina prošlog veka, pa postoji kolektivno i nasledno iskustvo i neki delovi opreme.

Betoniranje lamela može da se izvede i po nepovoljnim vremenskim uslovima pošto kavez može privremeno da se zatvori i zagreje.

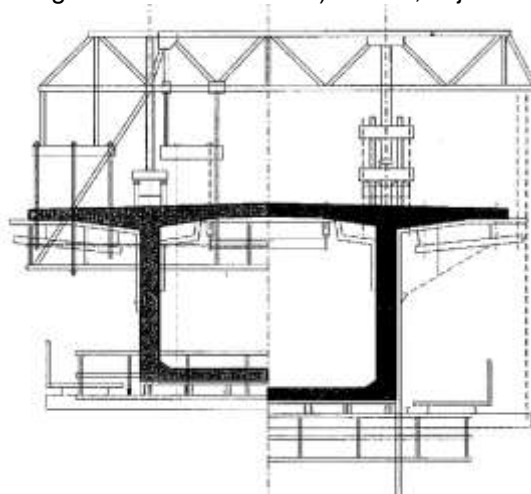
### 9.11.6.2 Oprema i postupak konzolne gradnje RK mostova

Osnovna oprema slobodne konzolne gradnje mostova velikih raspona su čelični kavezi.

Noseći čelični rešetkasti prostorni elementi pokretne skele – kavezi, ukupne dužine približno 10 m, omogućuju betoniranje segmenata, lamela dužine 5 m dok preostala dužina služi za ankerisanje na već izgrađenom konzolnom delu RK. Kod proizvođača i na tržištu može da se nabavi veći broj različitih tipova kaveza, ali je kod svih princip konstrukcije i tehnologija betoniranja lamela slična. Projektant mora da ima na raspolaganju sve podatke o konstrukciji i težini kaveza koji bi mogli da utiču na koncepciju i detalje konstrukcije i statičku analizu objekta.

a) već izgrađena lamela

b) lamela, koja se betonira

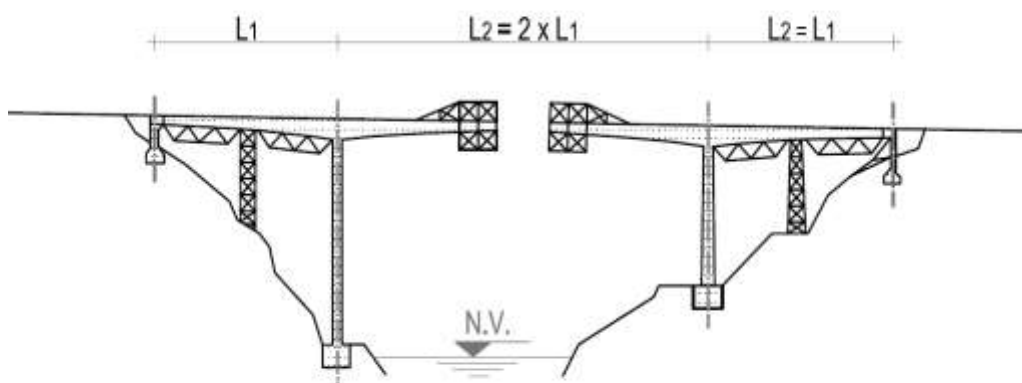


Slika 9.11.16. Shema poprečnog preseka čelične krletke

U prednjem delu kaveza je prostor za oplatu i beton lamele u gradnji. U zadnjem delu koji leži na stolu ili već izgrađenoj lameli su elementi za ankerisanje i pokretanje krletke po završenom prednaprezanju lamele.

Rasponska konstrukcija je pravougaonog ili trapezoidnog sandučastog preseka sa konstantnom ili promenljivom visinom od 2 do 15 m (iznad stubova kod najvećih raspona). Širina preseka je u granicama od 10 do 20 m, najčešće od 12 do 15 m za jedan kolovoz AP.

Poželjno je da je RK u pravcu ili krivini sa velikim poluprečnikom ( $R > 700$  m) u zavisnosti od raspona. Niveleta ne bi trebalo da bude u nagibu većem od 4 %. Najpoželjnije su simetrične konveksne nivelete kod kojih se teme vertikalne krivine nalazi na sredini mosta. Simetrični delovi objekta treba da se betoniraju istovremeno, čime se ujednačavaju deformacije koje nastaju usled reologije betona i postiže se projektovana geometrija (slika 9.11.17).

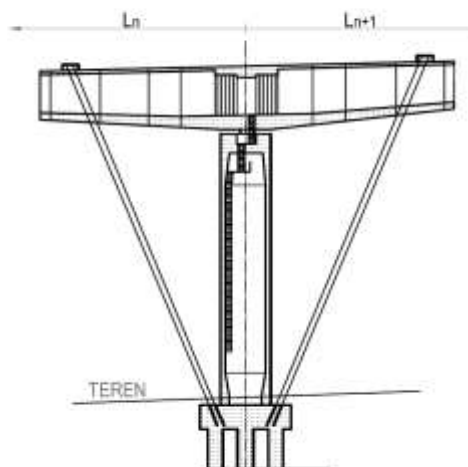


Slika 9.11.17: Slobodna konzolna gradnja velikog srednjeg raspona i fiksna skela za manje bočne raspone u krivinama manjeg radijusa.

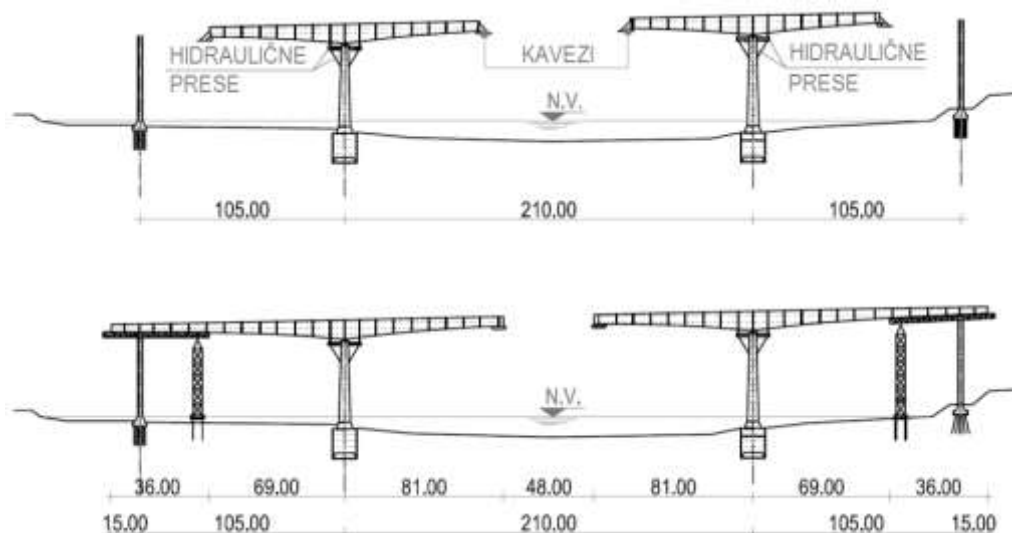
Za primenu slobodne konzolne gradnje RK mostova i vijadukata jako je važno rešenje povezivanja rasponske konstrukcije i stubova. Bazni deo RK dužine 5 do 10 m (jedna ili dve lamele) može da se izradi zajedno sa stubom sa čvrstom vezom ili na ležištima i privremenim ankerisanjem čime se postiže stabilnost u toku gradnje. Ako moraju da se primene ležišta (kruti niski stubovi) tada na vrhu stuba pored ležišta moraju da se ugrade četiri sinhronizovane prese sa kojima se reguliše geometrija (niveleta) RK. Na slici 9.11.18 pokazan je način ankerisanja baznog dela RK sa ležištima na vrhu stubova.

Na gradnji mosta rekordnih raspona Beška preko Dunava primenjena su originalna rešenja krletke u vidu konzolnih platformi dužine lamele koje su ankerisane za izgrađeni deo RK. Bazni delovi na krutoj vezi sa visokim stubovima su betonirani na skeli vezanoj za vrh stuba. Krajnji rasponi su uravnoteženi uz pomoć čeličnih jarama i skele. Konzolni postupak se ostvaruje korišćenjem kosih prednapregnutih zatega

koje prvo pridržavaju pokretnu platformu – kavez, a zatim samu konstrukciju.



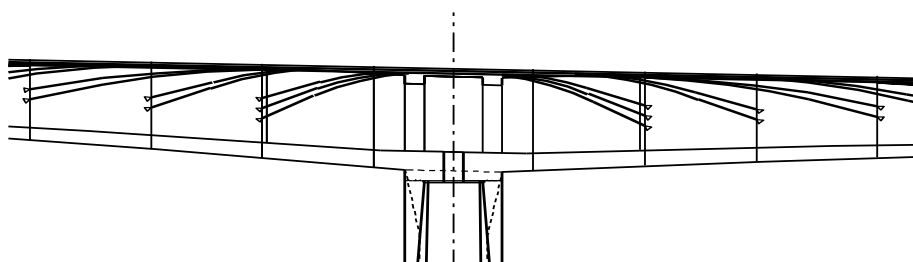
Slika 9.11.18: Ankerisanje baznog dela RK kod stubova sa ležištima



Slika 9.11.19: Slobodna konzolna gradnja mosta rekordnih raspona sa originalnim rešenjima kaveza

Postupak konzolne gradnje RK počinje nakon betoniranja baznog dela – stola različite dužine, a najčešće u dužini dve lamela (približno 10 m). Na bazni deo se montiraju i ankerišu radne platforme – kavezi za gradnju lamela dužine od približno 5 m.

U postupku konzolne gradnje sinhronizovano se ugrađuju i prednaprežu kablovi. Kad su segmenti sa leve i desne strane zabetonirani, uvlače se kablovi, a kad beton postigne približno 70 % karakteristične čvrstoće na pritisak, izvrši se prednaprežanje segmenata.



Slika 9.11.20: Kablovi za bazni deo i lamele konzolne gradnje

Sa završnim segmentom ili segmentima u sredini raspona uspostavlja se kontinuitet rasponske konstrukcije. Kod nekih mostova koji su bili izgrađeni na samom početku primene slobodne konzolne gradnje, u sredini raspona AB ostavljao se zglob ili ležište sa čime je most imao konzolni noseći sistem i za korisno opterećenje. U savremenoj mostogradnji zglobovi se izbacuju jer su neugodni pri vožnji i zahtevaju održavanje i rekonstrukcije. Kablovi za kontinuitet i preuzimanje pokretnog opterećenja naknadno se uvlače u ostavljene cevi, prednaprežu i ubrizgavaju.

Čelični kavezi treba da imaju tehničku i atestnu dokumentaciju koju pre svake upotrebe treba pregledati, kao i celu konstrukciju i opremu koja je potrebna kod građenja.

## 9.11.7 MONTAŽNO MONOLITIZIRANA GRADNJA RK MOSTOVA

### 9.11.7.1 Uvod

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

Ovakvim načinom slobodnog oslanjanja ne sprečavaju se deformacije diskontinualnog sistema. Pod uticajem korisnog opterećenja i

vremenskih uticaja glavni nosači se savijaju, a krajevi nosača rotiraju. Kinematika nosača na spoju izaziva zamor u elastičnim vezama što ima za posledicu destrukciju zglobove veze kod nepokretnih ležišta, odnosno oštećenja dilatacija kod pokretnih ležišta. Voda kroz oštećenja prodire voda u vezu i na glave stubova. Vozna ploha je neravna, pojačava se dinamika udara i stvoreni su svi uslovi za ubrzani vremenski tok destrukcije betona.

Statički neodređeni kontinuirani gredni sistemi sa dva, tri ili više raspona se najviše upotrebljavaju. Veličina raspona zavisi od morfologije prepreke, uslova fundiranja i postupka gradnje.

U višedecenijskoj upotrebi montažnih prednapregnutih nosača za RK mostova, pojavio se veliki broj različitih preseka nosača i različitih preseka RK sastavljenih od ovih nosača. Na oblik preseka uticali su troškovi proizvodnje, transporta, montaže i trajnost. Svi preseki nosača oblikovani su tako da na mestima, koja imaju funkciju smanjenja sopstvene težine nije moguć pristup u eksploataciji objekta, i smanjena je njihova trajnost.

Nosači sa T presekom i rebrom iste debljine po visini i gornjim tankim pojasom širine približno 2,0 m su jednostavni za izradu i montažu, a imaju dobar pristup za održavanje. T nosači omogućuju betoniranje kolovozne ploče i krajnjih poprečnih nosača bez skele i oplata, a sprežanjem montažnog i monolitnog dela preseka ostvaruje se jedinstven spregnuti presek. Nosači dužine 10 do 20 m izrađuju se na stazama za adhezijsko prednaprežanje. Nosači većih

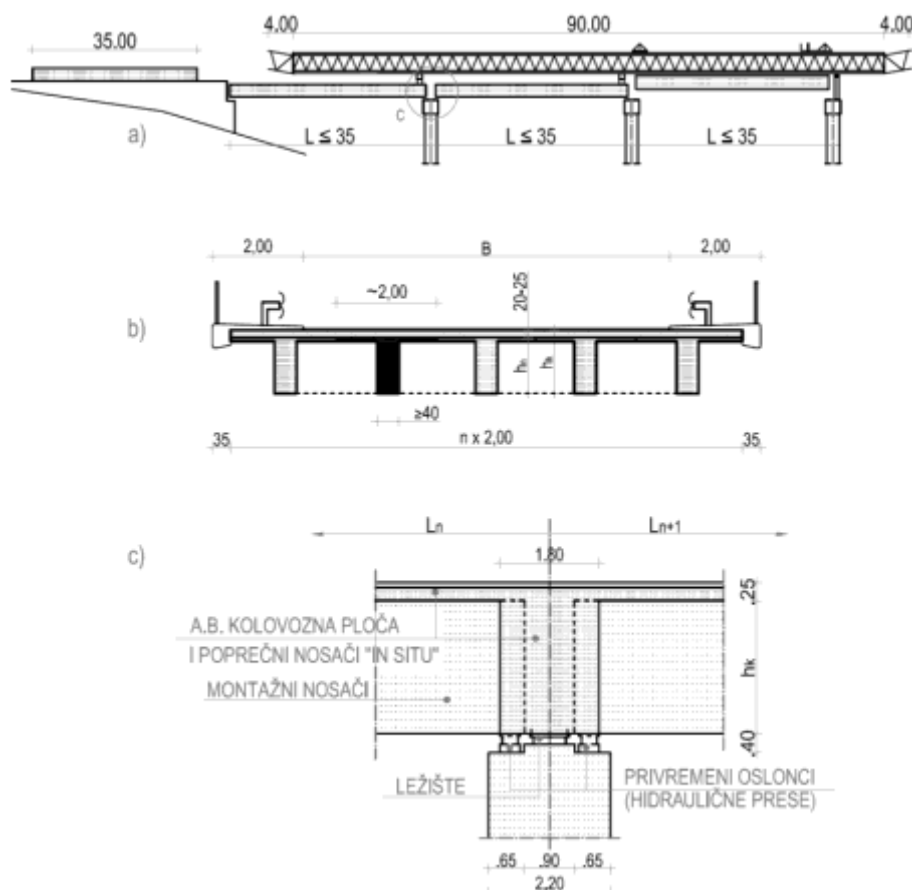
dužina 20 do 35 m prednaprežu se naknadno sa kablovima.

#### 9.11.7.2 Oprema i postupak montažno monolitizirane gradnje RK mostova

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

- Rasponi nosača ne bi trebalo da budu veći od 35 m.
- Montažni nosači od prednapregnutog betona mogu da se primene samo za kontinualne ili okvirne konstrukcije mostova najveće dužine 250 – 300 m.
- Radijus zakrivljenosti trase puta treba da bude veći od 500 m.
- Zakošenje mosta ne sme da bude manje od 60°.
- Preporučuju se T nosači sa tankim širokim gornjim pojasom koji omogućava betoniranje i sprežanje kolovozne ploče bez prekida i bez oplata.

Jednostavan presek T nosača olakšava prilagođavanje različitim širinama i geometriji RK. Betoniranjem kolovozne ploče i poprečnih nosača „in situ“ i sa ugrađivanjem potrebne podužne meke armature, ili kablovima, postiže se kontinuitet za pokretno opterećenje. Veza između RK i stubova ostvaruje se preko ležišta, AB zglobova ili čvrstom vezom sa okvirnom konstrukcijom. Izbor tipa povezivanja zavisi od dužine objekta, visine stubova i drugih okolnosti. Nosači su teški od 5 do 40 tona, transport se obavlja sa šleperima, a montiraju se sa autodizalicama ili lansirnom rešetkom.



- a) Montaža ABP nosača sa lansirnom rešetkom  
 b) Poprečni presek RK od T nosača sa širokim gornjim pojasom koji se sprežu AB pločom  
 c) Detalj uspostavljanja kontinuiteta montažnih nosača i oslanjanja preko ležišta na stubove mostova

#### 9.11.21 Montažno monolitizirana gradnja RK mostova

Poprečni nosači su samo nad stubovima, betoniraju se na licu mesta skupa sa kolovoznom pločom. Rasponska konstrukcija se statički analizira kao spregnuti presek. U proračun se uvode različite starosti i kvalitet betona montažnih nosača, kolovozne ploče i poprečnih nosača. Minimalna debljina kolovozne ploče iznad nosača je 20 cm, minimalna širina poprečnog nosača između krajeva montiranih nosača je od 80 do 90 cm, a na većim delovima između ivica nosača  $80 + 2 \times 20 = 120 - 130$  cm.

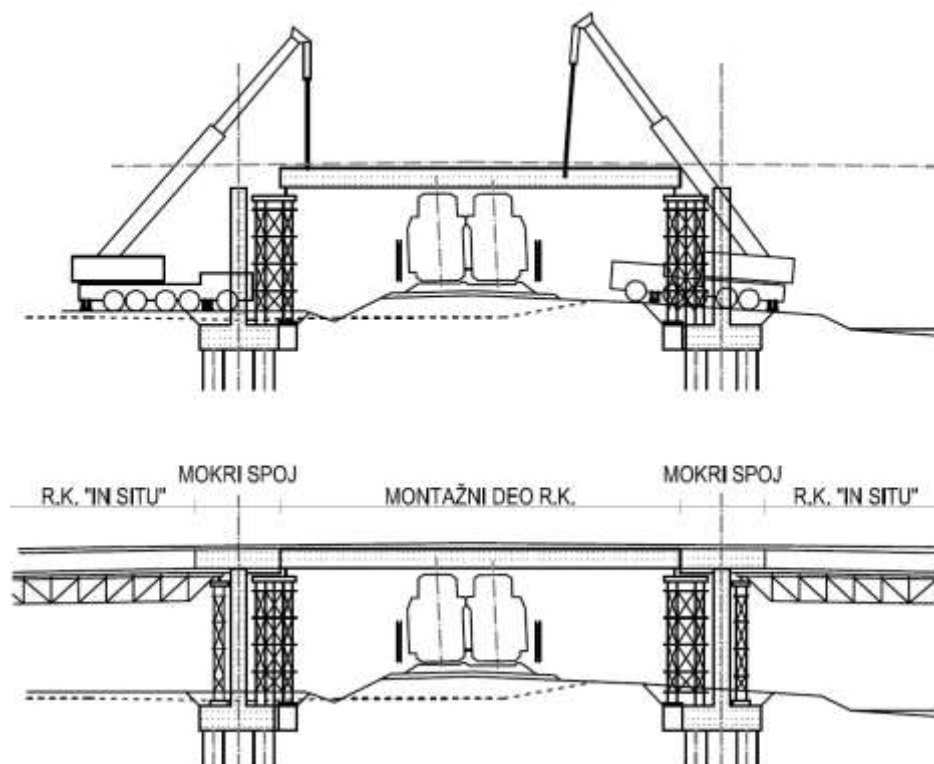
Spregnuta veza montažnih nosača i kolovozne ploče postiže se pomoću moždanika koji su ugrađeni čitavom dužinom i širinom nosača, a dimenzionisani su na

smičuće napone. Moždanici su od betonskog gvožđa i čine sastavni deo armature nosača.

Kod nadputnjaka i vijadukata relativno manje dužine koji prelaze preko elektrifikovanih železničkih pruga autoputeva i drugih prepreka preporučuje se korišćenje montažno monolitizirane gradnje za ceo objekt ili za deo objekta iznad kritične prepreke.

Na slici 9.11.22 prikazan je primer kombinovanja tehnologije monolitne gradnje na skeli i tehnologije montažne gradnje na rasponu iznad železnice. Nosači se autodizalicama montiraju na privremene oslonce – jarmove. Mekim spojem dužine od 3 do 5 m uspostavlja se kontinuitet RK.





Slika 9.11.2 Kombinovana gradnja nadputnjaka

#### 9.11.8 GRADNJA RK MOSTOVA OD INDUSTRIJSKI PROIZVEDENIH AB SEGMENTATA

Gradnja RK mostova i vijadukata od industrijski izvedenih AB segmenata počela je u Francuskoj 1962. godine. Preseci objekata od prefabrikovanih elemenata najčešće imaju oblik sanduka trapezoidnog ili pravougaonog oblika, širine od 10 do 20 m, dužine od 2 do 3 m, visine od 2 do 6 m. Po potrebi visina sanduka može da bude promenljiva. Kod segmentnog načina gradnje mogu da se upotrebe i drugi jednostavniji preseci, npr. presek sa dva široka trapezoidna nosača.

Tehnologija segmentne gradnje mostova primenjuje se za raspone od 30 do 120 m i veće dužine mostova, jednog ili grupe mostova ( $L > 500$  m). Kod ovog sistema poželjni su mostovi koji se nalaze u pravcu sa nagibom nivelete do 4 %. Moguća je upotreba i za objekte u krivinama, ali je u ovom slučaju izrada segmenata komplikovanija.

Proizvodnja segmenata može da bude centralizovana u nekoj postojećoj fabrici betonskih proizvoda ili u novoformiranoj fabrici na lokaciji koja se nalazi u blizini

mosta ili grupe mostova uz uslov da je ta odluka ekonomski opravdana.

Oplate za betoniranje segmenata su čelične, otporne na deformacije i opremljene mehanizmom koji omogućuje brzo otvaranje i zatvaranje uz mogućnost prilagođavanja promenljivoj geometriji preseka. Za jedan objekat ili grupu objekata potrebne su najmanje dve ili tri oplate čime se omogućuje jednovremeno betoniranje spojeva koji se međusobno dotiču. Sa oplatama su povezani sistemi vibratora.

Armaturni koševi kompletiraju se u pripremi. Rad se izvodi u zatvorenom toplom prostoru sa ili bez grejanja betona parom, što zavisi od projekta betona, postupka i brzine izrade. Proizvodnja segmenata je nezavisna od vremenskih uslova, u čemu se i ogleda prednost ovog postupka. Vremenska ograničenja povezana su sa upotrebom epoksidnih materijala za spojeve između segmenata.

Utovar, transport i montaža segmenata su različiti i relativno jednostavni. Zavise od volumena, težine, udaljenosti fabrike, prilaznih puteva do objekata i od raspoložive opreme potencijalnih izvođača.

Segmenti mogu da se montiraju sa postupkom slobodne konzolne gradnje,

simetrično u odnosu na stubove. Čelični konzolni delovi koji preuzimaju segmente su laki i jednostavni, a ankerišu se na već montirani deo konstrukcije. Nakon obrade spojeva segment se kablovima poveže za već izgrađeni deo. Za pojedinačnu montažu segmenata može se upotrebiti čelična rešetkasta konstrukcija. Segmenti mogu da se montiraju i u grupi po postupku „polje za poljem“.

U dosadašnjoj upotrebi tehnologije segmentne gradnje, razvila su se dva tipa segmenata: segmenti sa širokim mokrim spojem (70-100 cm) i segmenti sa kontaktnim prijanjajućim spojem.

Postupak sa širokim spojem ima manje zahteve u pogledu dimenzijskih tačnosti, a dozvoljava preklapanje podužne armature. Nedostaci postupka su u pridržavanju segmenta tako dugo dok spoj ne dobije dovoljnu čvrstoću, zadržavanje oplata i rešetke i smanjenje brzine građenja. Nedostaci ovog postupka su glavni razlozi da se ovakvi spojevi segmenata napuštenu.

Pod slobodnom segmentnom gradnjom podrazumeva se upotreba kontaktnih prijanjajućih spojeva sa zubima (matricom) koji se premazuju sa epoksidnim lepkom. Može da se konstatuje da se zahtevi postupka segmentnog građenja, a time kvalitet i trajnost mostova i vijadukata, zasniva na kvalitetu izvedenih spojeva između segmenata.

Razvoj i sve šira upotreba prednapreznja gornjih konstrukcija objekata sa kablovima izvan preseka čini tehnologiju segmentne gradnje sigurnijom i lakšom za izvođenje. Primena tehnologije segmentne gradnje zahteva viši tehnički nivo i iskustvo projektanata, izvođača, nadzora. Na ovim prostorima nije bila primenjena segmentna gradnja i po opštoj oceni nema veću perspektivu za primenu. Segmentna gradnja zahteva bitno veću tačnost i stručnu osposobljenost svih učesnika.

### 9.11.9 SAVREMENI POSTUPCI GRADNJE STUBOVA MOSTOVA

Krajnji stubovi objekata su različite konstrukcije i visine i uvek se betoniraju na licu mesta u oplati sa odgovarajućom krutošću i podupiračima. Oplata je oblikovana prema geometriji oporca i rasporedu radnih spojeva. Kvalitet i obrada oplata dati su u SRDM 9.12.8. Projekat oplata oporca mora

da obezbedi otpornost na deformacije i stabilnost sve dok beton ne dobije projektovanu čvrstoću.

Srednji stubovi objekata grade se u zavisnosti od oblika preseka, visine i broja stubova na jednom ili grupi objekata koji se istovremeno grade. Mostovi i vijadukti na autoputevima i magistralnim putevima, te veći objekti na regionalnim i lokalnim putevima imaju srednje stubove koji se betoniraju na licu mesta. Betoniranje srednjih stubova može da se izvede na tri različita načina, što zavisi od oblika preseka, visine i broja stubova.

Stubovi koji imaju promenljivi presek i malu visinu najlakše se betoniraju pomoću fiksne oplata sa odgovarajućom krutošću i podupiračima. Stubovi sa konstantnim punim ili šupljim sandučastim presekom i visinama većim od 15 m grade se pomoću ujednačene pokretne ili klizne oplata u lamelama dužine 3,0 do 4.0 m.

Pojam pokretne oplata podrazumeva oplatu u kojoj se betonira stub, a pokretanje – prenos oplata obavlja se mehaničkim putem (bez hidraulike) na visinu sledeće lamele.

Pojam klizne oplata podrazumeva oplatu u kojoj se betonira stub, a pokretanje se izvodi uz pomoć hidrauličkih dizalica čiji je rad usklađen sa brzinom betoniranja i očvršćavanja betona.

Konstruisanje armature stubova prilagođava se rasporedu radnih taktova. Pri gustoj glavnoj vertikalnoj armaturi kada nema dovoljno prostora za preklope armature moraju da se primene spojnice.

### 9.11.10 SAVREMENI POSTUPCI GRADNJE LUČNIH MOSTOVA

Gradnja betonskih lučnih mostova traje više od 100 godina. Sve do pedesetih godina, betonski lukovi su se gradili na skelama na sličan način kao i kameni lučni mostovi. Inovacije u gradnji betonskih lučnih mostova odnosile su se uglavnom na inovacije u pogledu novih rešenja za skele. Umesto skela koje su zatvarale kompletan profil prepreke, upotrebljavaju se skele sa drvenim i čeličnim lukovima preko čitavog profila ili dela profila prepreke. Ovakve skele upotrebljavaju se za veće raspone iznad dubokih dolina i rečnih prepreka.

U principu postoje četiri osnovna načina gradnje betonskih lučnih mostova:

- lukovi izgrađeni uz pomoć fiksne skele,
- lukovi izgrađeni uz pomoć postupka slobodne konzolne gradnje,
- lukovi izgrađeni od već pripremljenih delova luka i rotiranjem preko zgloba spuštenu u projektovani položaj,
- lukovi izgrađeni po kombinovanom postupku.

Skela se danas upotrebljava za gradnju lukova manjih raspona od 40 do 70 m koji premošćuju niske i dostupne prepreke. Za veće raspone i visine lukova mogu da se formiraju skele od čeličnih lučnih nosača sa dva ili tri zgloba bez srednjih oslonaca, što zavisi od raspoložive opreme izvođača radova.

Gradnja lukova velikih i najvećih raspona od 100 do 400 m sa tehnologijom slobodne konzolne gradnje počela je pre pet decenija na ovim prostorijama. Pojavom ove tehnologije lučni sistemi betonskih mostova postali su konkurentni i za velike raspone. Segmenti lukova dužine od 3 do 5 m betoniraju se na pomičnoj skeli. Napravljeni delovi lukova se ankerišu uz pomoć kosih zatega na već izgrađeni deo konstrukcije ili za posebno izrađene blokove. Postupak gradnje napreduje istovremeno sa obe strane.

Konstrukcija iznad luka (nadlučna konstrukcija) može da se betonira zajedno sa lukom ili naknadno po završenom spajanju lukova. Duže, nadlučne konstrukcije većih rečnih mostova grade se po tehnologiji postupnog potiskivanja. Uslov za primenu ove tehnologije jeste da se luk projektuje odvojeno od nadlučne konstrukcije na celoj dužini. Kod velikih lučnih mostova raspona prema 200 m preporučuje se primena spregnute nadlučne konstrukcije. Spregnuta konstrukcija je znatno lakša i utiče na smanjenja dimenzija preseka lukova.

Lukovi izgrađeni rotiranjem vertikalno betoniranih polovina su ekonomični samo za srednje raspone od 70 do 100 m. U postupku betoniranja luk predstavlja zakrivljeni nosač sa čeličnim zglobovom na dnu. Popuštanjem kosih zatega spuštaju se polovine lukova, međusobno se spajaju i formiraju luk u celini.

Kombinovani postupak gradnje lukova predstavlja kombinaciju postupka sa skelom za delove lukova u petama i konzolnog postupka za srednji nedostupni deo luka. Moguća je i kombinacija da se delovi pete

naprave po konzolnom postupku, a srednji deo pomoću skele koja je prihvaćena na krajevima već izgrađenog luka.

Projektovanje lučnih mostova kao i objekata drugih nosećih sistema uspešna je samo u slučajevima kod kojih se istovremeno rešavaju i postupci gradnje. Nedostatak poznavanja postupaka gradnje lučnih mostova ne treba da bude razlog da se grade u manjoj meri. Racionalno rešenje postupka gradnje lukova može da doprinese da i ovi sistemi budu konkurentni vrednim i okvirnim sistemima.