

REPUBLIKA SRBIJA
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

9. PROJEKTOVANJE MOSTOVA

9.10 PREDNAPREZANJE BETONSKIH MOSTOVA

BEOGRAD, 2012.

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

Izdanja:

Br.	Datum	Opis izmena i dopuna
1	30. 04. 2012.	Početno izdanje

SADRŽAJ

9.10.1	UVODNI DEO	1
9.10.1.1	PREDMET SMERNICE	1
9.10.1.2	REFERENTNI NORMATIVI	1
9.10.1.3	TERMINOLOGIJA	2
9.10.1.4	KORIŠĆENE SKRAĆENICE	3
9.10.2	UOPŠTE O PREDNAPREZANJU	3
9.10.2.1	UVOD	3
9.10.2.2	ISTORIJA PREDNAPREZANJA	4
9.10.3	NAČINI PREDNAPREZANJA	5
9.10.4	SASTAV SISTEMA ZA PREDNAPREZANJE	6
9.10.4.1	VISOKOVREDNI ČELIK ZA PREDNAPREZANJE	6
9.10.4.2	KOTVE	6
9.10.4.3	CEVI	8
9.10.4.4	OPREMA ZA PREDNAPREZANJE	8
9.10.5	PREDNAPREZANJE SA SPREGNUTIM KABLOVIMA	8
9.10.5.1	TEHNOLOGIJA IZRADE, MONTAŽE I ZAŠTITE KABLOVA	8
9.10.5.2	KONSTRUKTIVNA REŠENJA I DETALJI	11
9.10.5.2.1	Prednaprezanje mostova izgrađenih u oplati na skeli	13
9.10.5.2.2	Prednaprezanje RK mostova građenih metodom potiskivanja	13
9.10.5.2.3	Gradnja RK grede mosta po postupku slobodne konzolne gradnje	14
9.10.5.2.4	Prednaprezanje montažno monolitiziranih rasponskih konstrukcija mostova	15
9.10.6	PREDNAPREZANJE SA NESPREGNUTIM KABLOVIMA U PRESEKU I VAN PRESEKA	16
9.10.6.1	PREDNOSTI PREDNAPREZANJA NESPREGNUTIM KABLOVIMA	16
9.10.6.2	NEDOSTATAK PREDNAPREZANJA NESPREGNUTIM KABLOVIMA	17
9.10.6.3	EKONOMSKI ASPEKTI	17
9.10.6.4	TEHNIKA, TEHNOLOGIJA I ZAŠTITA OD KOROZIJE	17
9.10.6.4.1	Kablovi za prednaprezanje u preseku bez sprezanja	18
9.10.6.4.2	Kablovi za prednaprezanje van preseka bez sprezanja	18
9.10.6.4.3	Promenljivi kablovi injektirani sa cementnom suspenzijom u slučaju duplog omotača	18
9.10.6.4.4	Izmenljivi kablovi, ubrizgavanje sa fleksibilnim materijalom	18
9.10.6.5	KONSTRUISANJE SPOLJAŠNJIH KABLOVA	19
9.10.7	KOMERCIALNI SISTEMI ZA PREDNAPREZANJE	21

9.10.1 UVODNI DEO

9.10.1.1 Predmet smernice

- Smernica daje celovit informativan pregledan prikaz primene prednaprežanja betonskih mostova. Namenjena je prvenstveno projektantima mostova kao pomoć pri opredeljivanju za primenu prednaprežanja, za izbor načina prednaprežanja i rešavanja detalja konstruisanja.
- Smernica pruža osnovne podatke i informacije o sastavnim delovima sistema i opreme prednaprežanja.
- U tačkama 9.10.3 i 9.10.4 dati su osnovni podaci, prednosti i nedostaci prednaprežanja sa spregnutim kablovima i prednaprežanja sa nespregnutim kablovima u preseku i van preseka.
- Smernica obrađuje tehnologiju izrade, montaže i zaštite kablova, konstruktivno detaljisanje i osnove proračuna.

- U posebnoj tački 9.10.8 informativno su prikazani aktuelni komercijalni sistemi za prednaprežanje koji se primenjuju u praksi na ovim prostorima.
- U poslednjoj tački 9.10.9 prikazan je postupak montiranja i održavanja elemenata sistema za prednaprežanje betonskih mostova.

9.10.1.2 Referentni normativi

- | | |
|-----------|---|
| SRDM 9.1 | Opšta smernica za projektovanje mostova |
| SRDM 9.2 | Noseći 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 10.5 | Ankerisani zidovi i konstrukcije |

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 Mesasures and Conditions for Prestressed Concrete
Pravilnik o tehničkim normativima za čelične žice i užad za prednaprežanje konstrukcija	Sl. list SFRJ 41-530/85 i 21-276/88		Rule Book on Technical Normatives for Steel Wires and Ropes for Prestressed Constructions
Pravilnik o jugoslovenskim standardima za osnove projektovanja građevinskih konstrukcija	Sl. list SFRJ 49-667/88	1988	Rule Book on Yugoslav Standards for Basic Design of Civil Construction
Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton za objekte koji su izloženi delovanju agresivnih medija	Sl. list SFRJ 18/92	1992	Rule Book on technical Normatives for Concrete and Reinforced Concrete for Structures Exposed to Aggressive Medias
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 beton i armirani beton pripremljen sa prirodnim i veštačkim lakim agregatima	Sl. list SFRJ 15-296/90	1990	Rule Book on technical Normatives for Concrete and Reinforced Concrete with Natural and Artificial Light Aggregates
Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje, proizvodnju i izvođenje konstrukcija od prefabrikovanih elemenata od nearmiranog i armiranog betona	Sl. list SFRJ 14-146/89	1989	Rule Book on technical Normatives for design, Manufacturing and Construction of Structures Prepared of Pre-fabricated Elements of Non-reinforced and Reinforced Concrete

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

9.10.1.3 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 izgradnje objekta i za potrebe održavanja.

Izgradnja objekta jeste skup radnji koji obuhvata: prethodne radove, izradu i kontrolu tehničke dokumentacije, pripremne radove za gradnju, gradnju objekta i stručni nadzor u toku gradnje 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, 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) sa otvorom $\geq 5,0$ m.

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

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

Visoke ulice su vijadukti za denivelisan saobraćaj u gradskim urbanizovanim prostorima.

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

Podvožnjaci su objekti koji omogućuju delivelisan prolaz puteva ispod AP VP ili železničkih pruga.

Mostove kao objekte čine tri celine:

- rasponska konstrukcija,
- potporna konstrukcija,
- oprema mosta.

Potpornu konstrukciju mostova čine:

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

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

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

Konstrukciona visina je visina rasponske konstrukcije koja može da bude promenljiva ili konstantna.

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

Ukupna širina mosta je odstojanje između spoljašnjih ivica ivičnih venaca.

Statički rasponi mostova su razmaci između osovina susednih stubova.

Niveleta mosta je identična sa niveletom trase puta na mostu.

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

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

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

Viseći sistemi mostova su sistemi kod kojih noseću konstrukciju čine parabolični 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 pomoću kosih kablova – zatega obešena (elastično poduprta) na pilone.

Prednaprežanje je veštačko unošenje sila putem kablova iz visokovrednog čelika u betonske preseke sa ciljem da se smanje ili eliminišu naponi zatezanja.

Prednaprežanje sa spregnutim kablovima podrazumeva kablove unutar betonskih preseka koji su sa injektiranjem homogeno povezani – spregnuti sa betonskim presekom.

Prednaprežanje bez sprežanja podrazumeva neinjektirane– nespregnute kablove u betonskom preseku ili van preseka.

Adhezivno prednaprežanje je način prethodnog prednaprežanja žica ili užadi pre stvrdnjavanja betona.

Naknadno ili kablovsko prednaprežanje je način naknadnog prednaprežanja kablova po stvrdnjavanju betona.

Čelik za prednaprežanje je visokovredni čelik u vidu žica, užadi, kablova ili šipki koji nakon veštačkog izduženja preko kotvi prenosi pritisak u betonski presek.

Kotve su čelični elementi sistema za prednaprežanje preko kojih se sila iz prednaprežnutog kabla prenosi u betonski presek.

Zaštitne cevi za kablove su čelične ili polietilenske cevi koje štite žice ili užad od prednaprežanja i po prednaprežanju.

Kablovi za prednaprežanje sa kompozicioni elementi koje čine žice ili užad, zaštitne cevi i kotve.

Oprema za prednaprežanje su hidrauličke prese koje preko kotvi izdužuju – prednaprežu žice, užad i/ili kablove.

Nosači kablova su oblikovani elementi od betonskog gvožđa koji obezbeđuju prostorski položaj kabla unutar betonskog preseka.

Devijatori su elementi izvan ili u betonskom preseku koji omogućuju projektovani položaj spoljašnjih nespregnutih kablova.

Opremu za injektiranje čine mešalice za pripremu injekcione mase i pumpa koja pod pritiskom potiskuje masu za injektiranje u zaštitnu cev kablova.

9.10.1.4 Korišćene skraćenice

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

9.10.2 UOPŠTE O PREDNAPREŽANJU

9.10.2.1 Uvod

Više od pet decenije tehnika i tehnologija prednaprežanja se široko primenjuje u mostogradnji.

Cilj prednaprežanja je, da se eliminišu ili umanje normalni naponi zatezanja u svim

presecima i to delovanjem umetno izazvanim silama – silama prednaprezanja. Tako dobijena naprezanja moraju da budu manja od dozvoljenih vrednosti u svim fazama izvedbe i korišćenja građevine.

Razvoj prednaprezanja kretao se, a i dalje se kreće, u pravcu savladavanja većih raspona koji su bili nedostižni za armirani beton i u pravcu razvoja tehnologije gradnje, opreme i antikorozivne zaštite kablova i kotvi.

Prednosti prednapregnutih konstrukcija:

- savladavanje velikih raspona uz veću vitkost i manju masu,
- povećana trajnost zbog izostanka pukotina,
- manji ugibi nosećih elemenata,
- veća otpornost na zamor zbog male varijacije naprezanja u čeliku za prednaprezanje,
- pukotine se nakon delovanja promenljivih i izvanrednih uticaja zatvaraju.

Nedostaci prednapregnutih konstrukcija:

- potrebna je stručna radna snaga zbog zahtevnijih radova,
- potrebna je posebna oprema,
- veća preciznost u projektovanju i izvođenju,
- skuplji materijal,
- posvećuje se više pažnje kvalitetu kontrole i nadzoru izrade prednapregnutog betona.

Zbog svojih prednosti, prednapregnuti je vrlo prikladan za izrazito dinamički opterećene konstrukcije, kao što su mostovi, kranske staze itd.).

9.10.2.2 Istorija prednaprezanja

Prvi predlog za primenu prednaprezanja betona pojavljuje se u SAD (P. J. Jackson, 1886.). Gotovo istovremeno pojavljuje se sličan predlog i u Nemačkoj (W. Dohring, 1888). Glavna svrha prednaprezanja je bila da se spreči pucanje betona.

M. Koenen u Berlinu (1906) počeo da eksperimentiše gredama u koje je bila zabetonirana prednapeta armatura. Armatura je, međutim, bila nedovoljno napeta (60 N/mm²), pa je prednaprezanje u njoj postupno sasvim iščezlo zbog skupljanja i puzanja betona o čemu se u to doba nije znalo ništa.

Do sredine dvadesetih godina prošlog veka bilo je još nekoliko sličnih neuspelih pokušaja.

F. v. Emperger (Austrija) primenio je 1939. istovremeno nenapetu i napetu armaturu, što je početak delimičnoga prednaprezanja.

Između 1930. i 1950. dolazi do prve upotrebe prednapregnutog betona u mostogradnji.

Francuski inženjer E. Freyssinet od 1911. g. je proučavao pojavu puzanja betona merenjem srazmernih skraćenja na velikim betonskim lukovima, pa je utvrdio suštinu klizanja i bitne pretpostavke za uspešnu primenu prednaprezanja.

Freyssinet je 1928. došao do prvog prednapetog betonskog mosta s naprezanjem u čeliku 400 N/mm². To je značilo preokret u tehnici građenja betonom.

Od 1930. g. Freyssinet sve smelije primenjuje prednaprezanje. Tako je 1941. projektovao izvanredno vitak dvozglojni okvirni most preko Marne kod Luzancyja sa rasponom od 55 m. Međutim, most je izgrađen tek nakon II. svetskog rata, kada je izgrađeno još pet sličnih mostova preko Marne. U izgradnji tih mostova primenjeno je nekoliko postupaka koji su tek kasnije ušli u širu građevinsku praksu:

- prednaprezanje rebra (kasnije napušteno),
- nadoknada (kompenzacija) pomaka od skupljanja i puzanja betona,
- sklapanje gotovih odsečaka (montaža prefabrikovanih segmenata).

Tridesetih godina XX v. F. Dischinger predlaže postavljanje natege izlomljene (poligonalne) osovine izvan preseka nosača, ali unutar visine rasponske konstrukcije, što bi omogućilo naknadno dodavanje sila.

Približno istovremeno U. Finsterwalder razmatra uticaj podvlačenja natege pod gredu sa središnjim zglobovom oko kojeg se okreću delovi grede uz istovremeno odmicanje krajeva uticajem sopstvene mase grede.

E. Hoyer je 1938. razvio postupak prednaprezanja čeličnim žicama vrlo velike čvrstoće (1,6÷2,8 kN/mm²) koje prijanjanjem prenose silu na beton – adhezivno prednaprezanje.

Istinski procvat prednapregnutih betonskih konstrukcija na međunarodnom nivou postignut je tek u godinama nakon II. svetskog rata. Ratna razaranja nametnula su mnogo širu primenu betona u obnovi porušenih mostova, pa i onih većih raspona.

Švajcarski inženjeri M. Birkenmayer, C. Brandestini, M. Roš i K. Vogt izumeli su 1948. sistem prednaprezanja **BBRV** (nazvan po početnim slovima njihovih prezimena). Kasnije je osnovana i istoimena firma (bez slova V), koja i danas posluje.

Kablovi ovog sistema sastoje se od žica ϕ 7 mm ankerisanih pomoću hladno oblikovanih glavica.

Prvi putni most prednapet ovim sistemom izgrađen je 1950.

F. Leonhardt 1949. godine izvodi moćne uvećane natege sastavljene od užeta, a zatim projektuje putni most od prednapregnutog betona.

U. Finsterwalder gradi 1950. prvi prednapregnuti betonski most po postupku proste konzolne grede po ideji akademika Lazarevića.

Zaslужan za razvoj i upotrebu prednapregnutog betona je Belgijanac G. Magnel koji je razvio sopstveni postupak prednaprezanja i projektovao prvi most sa kontinuiranom rasponskom konstrukcijom (preko *Maasa* kod Sclayna, rasponi: 2×62 m) i napisao prvu knjigu o prednapregnutom betonu.

B. Žeželj razvio je 1952. godine sopstveni postupak prednaprezanja nazvan sistemom IMS (Institut za materijale SR Srbije).

Primenom ovog postupka ostvarena su brojna vredna postignuća, naročito u mostogradnji (most preko r. Neretve u Čapljini, most preko Dunava kod Beške, Šibenski, Paški i Krčki most, ...).

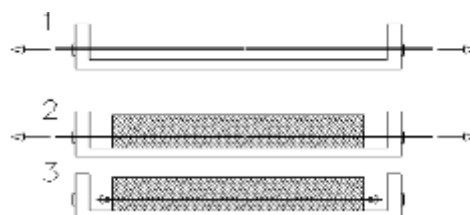
Godine 1953. osnovano je Međunarodno društvo za prednapregnuti beton (Federation Internationale de la Precontrainte, **FIP**).

To društvo se 1998. ujedinilo s Evropskim međunarodnim odborom za beton (Comite Euro-International du Beton, **CEB**) i sada deluje pod imenom Međunarodnog društva za beton (Federation Internationale du Beton, **fib**).

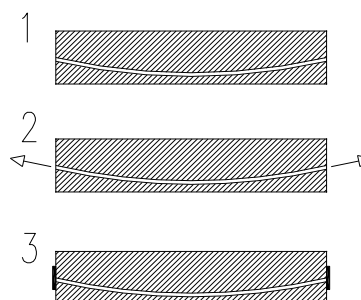
9.10.3 NAČINI PREDNAPREZANJA

Prema načinu prednaprezanja razlikujemo:

- prethodno ili adhezivno prednaprezanje (naprezanje pre stvrdnjavanja betona),
- naknadno ili kablovsko prednaprezanje (naprezanje nakon stvrdnjavanja betona),



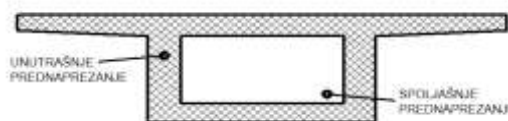
Slika 9.10.1: Prethodno ili adhezivno prednaprezanje



Slika 9.10.2: Naknadno ili kablovsko prednaprezanje

Naknadno kablovsko prednaprezanje može da bude:

- **prema položaju kablova** u odnosu na betonski presek:
 - unutrašnje prednaprezanje, kabl se nalazi u preseku (češća upotreba) ili
 - spoljašnje prednaprezanje, kabl se nalazi izvan preseka.
- **prema sprezi sa presekom:**
 - prednaprezanje sa sprežanjem sa presekom (postiže se ubrizgavanjem cementnom injekcijskom masom) ili
 - prednaprezanje bez sprežanja sa presekom – spoljašnje prednaprezanje (injektiranje kabla je sa mastima).



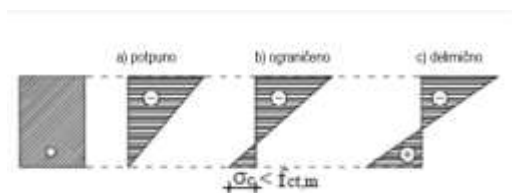
Slika 9.10.3: Unutrašnje i spoljašnje prednaprezanje

Prema stepenu prednaprezanja razlikujemo:

- potpuno prednapeti beton $k=1$,
- ograničeno i delimično prednapeti beton $0 < k < 1$,
- armirani beton $k=0$

gde je k odnos momenta dekompresije i ukupnog momenta:

$$k = \frac{M_{dek}}{M_{g+\Delta g+q}}$$



Slika 9.10.4 Naponi na gornjoj i donjoj ivici za potpuno, ograničeno i delimično prednapregnuti presek

Moment dekompresije je moment savijanja izazvan spoljašnjim opterećenjem koji je po veličini i smeru takav da na vučnoj ivici poništava naprezanja izazvana silom prednaprezanja.

Potpuno prednapeti elementi su oni u kojima u najnepovoljnijoj kombinaciji delovanja u betonu nema vučnih naprezanja. Za njih je stepen prednaprezanja 1.0.

U ograničeno prednapregnutim elementima može da dođe do pojave napona zatezanja, ali koji su manji od dozvoljenih. Kod njih je stupanj prednaprezanja manji od 1.0.

Kod delimično prednapregnutih elemenata pri određenoj kombinaciji delovanja mogu da se pojave pukotine, ali njihove karakteristične širine moraju da budu manje od propisanih. stepen prednaprezanja im je između 0.4 i 0.7.

Prema obliku elementa koji se prednapreže može da bude:

- linearno prednaprezanje: kada su prednapregnuti elementi ravni ili pljosnati u smeru prednaprezanja (prednaprezanje greda, pilota, ploča, stubova, železničkih pragova) ili kada je kabl zakrivljen (kontinualne grede),
- kružno prednaprezanje: kada su prednapregnuti elementi zakrivljeni u smeru prednaprezanja (prednaprezanje silosa, rezervoara i cevi po obimu),

9.10.4 SASTAV SISTEMA ZA PREDNAPREZANJE

Sastavni delovi svakog sistema za prednaprezanje su:

- visokovredni čelik za prednaprezanje,
- kotve,
- cevi,
- oprema za prednaprezanje.

9.10.4.1 Visokovredni čelik za prednaprezanje

Čelik za prednaprezanje je najčešće u sledećim oblicima:

- žica (*wire*) – je pojedinačni element od čelika ϕ 5 i ϕ 7 mm,
- užad (*strand*) je ispletena od 2, 3 ili 7 žica,
- kabl (*tendon*) – pojedinačni – predstavlja užadi ili žica objedinjene u cevi,
- grupa kablova (zatega) (*cable*) – upotrebljava se kod spoljašnjeg prednaprezanja,
- šipka (*bar*) je pojedinačna čelična šipka čiji je prečnik daleko veći od prečnika žice.

Kabl predstavlja skup žica ili užadi koje se nalaze u jednoj cevi. Obično se broj žica ili užadi u kابلu poklapa sa brojem užadi u kotvi. Međutim, zbog povećanja kapaciteta kablova, delovi kablova u ankerskom bloku konstrukcije mogu da se podele na više kotvi. Istovremenim prednaprezanjem kablova sa više presa i zajedničkom pumpom, višestruko se povećava sila u kابلu u odnosu na silu kotve. Za prednaprezanje objekata dozvoljava se upotreba čelika koji ima karakterističnu otpornost na zatezanje $f_{p,0,2k}/f_{pk} = 1670/1860 \text{ MN/m}^2$ ili $f_{p,0,2k}/f_{pk} = 1570/1770 \text{ MN/m}^2$ u skladu sa tehničkim odobrenjem sistema za prednaprezanje.

Za prednaprezanje AB objekata mora da se upotrebi čelik sa niskom relaksacijom koja iznosi 2,5 % gubitaka nakon 1000 sati, odnosno u konačnoj vrednosti $3 \times 2,5 \% = 7,5 \%$ gubitaka od 500.000 sati. Bez obzira na certifikate proizvođača čelika, u projektima mora da se uzme u obzir vrednost od 7,5 %.

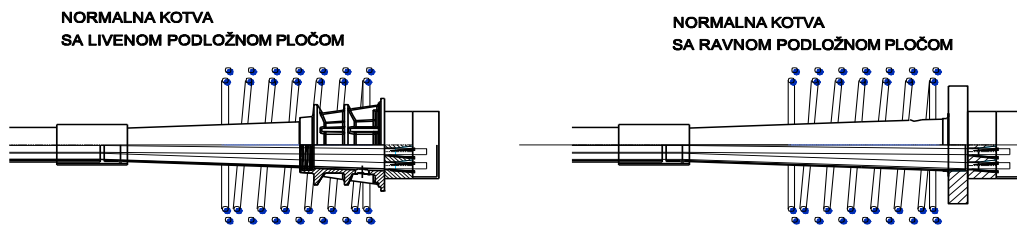
Kod upotrebe svih sistema za prednaprezanje (SPB SUPER, BBR, Dywidag, Freyssinet) i drugi certifikovani sistemi, mora da se dokaže kompatibilnost svih sastavnih elemenata sistema za prednaprezanje.

Prilikom nabavke visokovrednog čelika i elemenata za prednaprezanje proizvođač je obavezan da preda sve certifikate koji se zahtevaju po važećim propisima u državi proizvođača i državi korisnika.

9.10.4.2 Kotve

Prema funkciji koju obavljaju kotve su podeljene na:

- normalne (aktivne i pasivne)kotve,
- fiksne kotve i
- kotve za produžavanje.

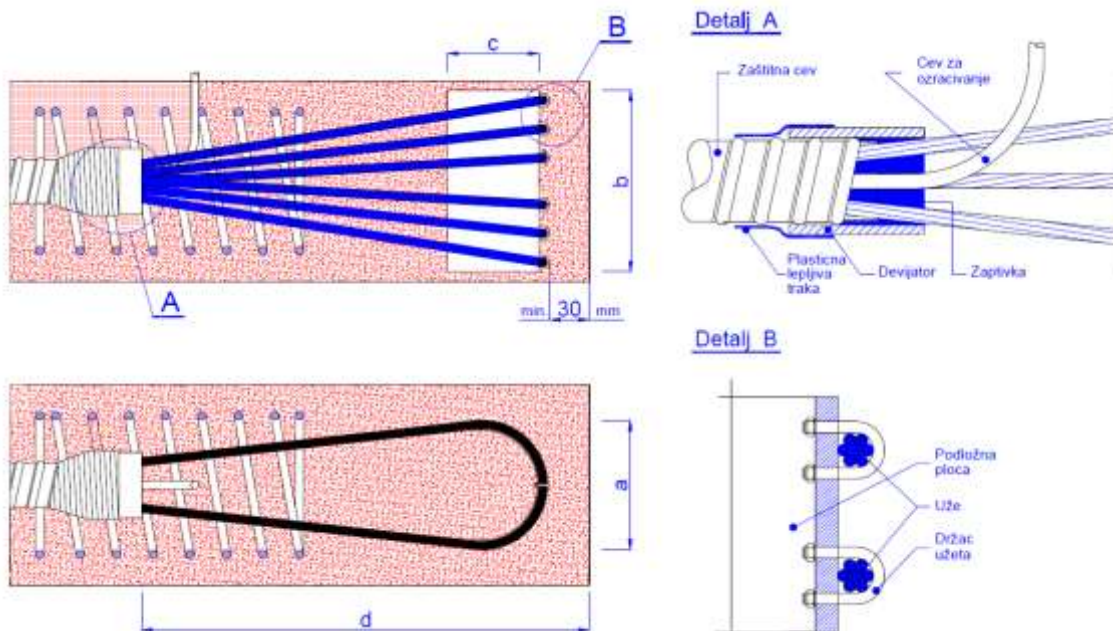


Slika 9.10.5 Normalna kotva – aktivna ili pasivna

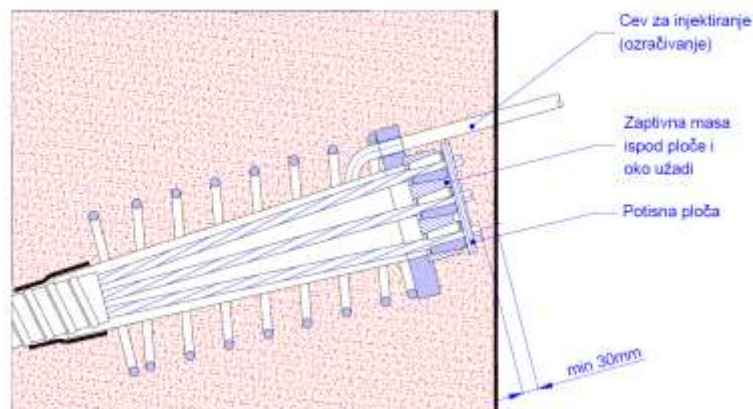
Normalna kotva je aktivna kada se preko nje vrši prednaprezanje kabla, a pasivna kada ima ulogu fiksne kotve.

Fiksna kotva se koristi kada je moguće prednaprezanje sa jedne strane i kada za to postoje statičko-konstruktorski uslovi. Njena cena je znatno niža.

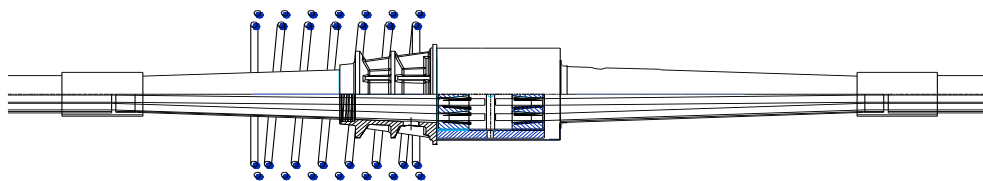
Kotva za produžavanje služi za produžavanje već prednapregnutog kabla ili za produžavanje kabla koji će tek da se prednapreže. Obično se produžavaju kablovi istog tipa ali je moguća i redukcija sa većeg na manji.



Slika 9.10.6 Fiksna kotva sa previjanjem užadi



Slika 9.10.7 Fiksna kotva kao normalna



Slika 9.10.8 Nepomična kotva za produžavanje

9.10.4.3 Cevi

Sprovođenje kablova kroz konstrukciju može da se vrši preko kanala i otvora ostavljenih u betonu na bilo koji način.

Kablovi se najčešće postavljaju u zaštitne cevi koje mogu da budu:

- rebraste od tankog lima,
- glatke metalne tankih zidova,
- rebraste plastične i
- glatke plastične.

Postoji tendencija da se za kablove upotrebljavaju plastične cevi. One su obavezne za objekte u kojima je prisutna „lutajuća struja“, kao što su nadvožnjaci i podvožnjaci na elektrificiranim prugama sa jednosmernom strujom. Kod ovakvih objekata kablovi treba da budu izolovani od ostale konstrukcije. Na kotvama se primenjuju posebne izolacione ploče između podložne ploče i ankerske glave.

9.10.4.4 Oprema za prednaprežanje

Oprema za prednaprežanje se sastoji od, presa i pumpi, te od opreme za zaštitu kablova.

Prese i pumpe treba da budu racionalno usaglašene sa tipovima kablova i zavise od veličine sile kabla, broja i prečnika užadi ili žica. Sinhronizovanim radom prese i pumpe obavljaju se sve radne operacije: hvatanje, istezanje, zaklinjavanje, vraćanje prese u početni položaj i oslobađanje zahvata.

Merenje sile u kablju vrši se očitavanjem pritiska na manometru pumpe, a veza pritisak-sila data je u dijagramu baždarenja. U posebnim slučajevima sila može da se meri u toku prednaprežanja ili trajno, kod slobodnih (nevezanih) kablova, uobičajenom tehnikom zasnovanom na promeni deformacija ili elektromagnetne indukcije.

Kada se radi o cementnoj smesi, oprema za zaštitu kablova, se sastoji od mutilice u kojoj

se priprema smesa vode, cementa i aditiva i elektro pumpe koja pod pritiskom utiskuje smesu u cev kabla.

Slobodni, kablovi bez sprege obično se zaštićuju mastima ili voskom. Pošto se ovi proizvodi nabavljaju u predviđenom viskozitetu stavlja se direktno u rezervoar pumpe i utiskuju se na sličan način kao cementna smesa, odgovarajućom pumpom u zaštitne cevi kablova.

9.10.5 PREDNAPREŽANJE SA SPREGNUTIM KABLOVIMA

9.10.5.1 Tehnologija izrade, montaže i zaštite kablova

Izrada, transport, skladištenje i ugrađivanje kablova za prednaprežanje projektuju se i izvode tako da njihova funkcionalna sposobnost i zaptivnost ne budu smanjeni. Zaštitne cevi treba da budu transportovane skladištene i obrađene tako da u unutrašnjosti cevi ne može da uđe voda ili druge materije štetne po prednapregnute kabl.

Zaštitne cevi ne smeju da budu oštećene da ne bi ometale postupak naprežanja i ubrizgavanja. Kod plastičnih cevi treba obezbediti mogućnost električne izolacije.

Čelik za prednaprežanje mora da bude čist i bez štetne rđe. Može da se upotrebi čelik sa tankim slojem rđe. Tanak sloj rđe podrazumeva i sloj rđe pri čemu korozivni kanali nisu vidljivi golim okom i može da se ukloni. A brisanje krpom ne sme da bude korišćeno kao postupak odstranjivanja rđe.

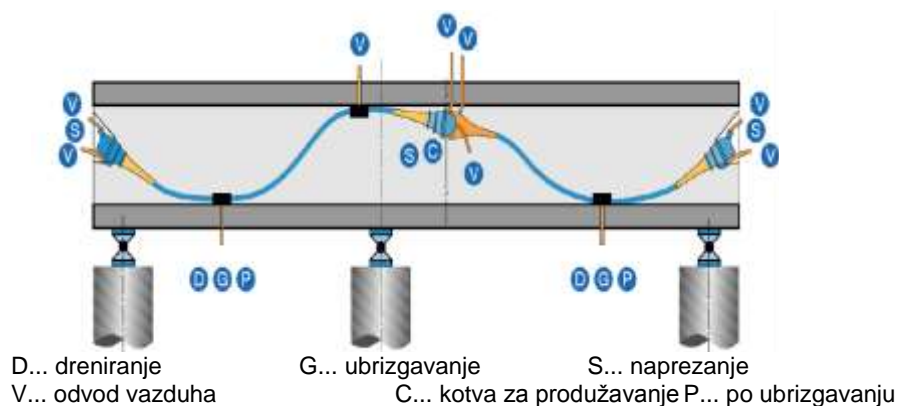
Da bi se sprečile korozivna oštećenja na čeličnom kablju i čeličnim zaštitnim cevima, vremenski period između ugrađivanja odnosno prednaprežanja i ubrizgavanja treba da bude što kraći. Dozvoljene vremenske intervale treba proceniti u skladu sa lokalnim uslovima (suv, vlažan ili agresivan ambijent). Ako su invazija i nakupljanje vlage u kablju sprečeni, treba se pridržavati sledećih

vremenskih intervala bez dodatnih zaštitnih mera:

- kod kablova, koji su izrađeni u fabrici: do 12 nedelja između izrade i ubrizgavanja od čega do četiri nedelje u oplati pre betoniranja i do približno dve nedelje u konačnom napretnom stanju,
- kod kablova, koji se izrađuju na gradilištu: do šest nedelja između postavljanja kablova u konstrukciju i ubrizgavanja od čega do dve nedelje u konačnom napretnom stanju.

Ako se uslovi ne ispune, moraju da se obezbede posebne mere za privremenu antikorozivnu zaštitu kablova. Treba dokazati dovoljan protikorozivni učinak i bezopasnost mera kako za visokovredni čelik kabla tako i zaštitnu cev, injekcionu smesu i spregu između čeličnog kabla i betona.

Ukoliko se očekuje da se u narednih 48 sati temperatura spusti ispod $+5^{\circ}\text{C}$ treba da se primeni postupak zaštite kablova na niskim temperaturama.



Slika 9.10.9 Šematski prikaz delova kabla i postupka naprezanja i ubrizgavanja

Cementna smesa smrzava se na temperaturi između -2°C i -5°C . Da bi se izbeglo smrzavanje injekcionu masu treba održati na $+5^{\circ}\text{C}$ tri naredna dana posle injektiranja.

Na niskim temperaturama treba koristiti specijalne aditive za smesu i grejanjem obezbediti uslove za njeno očvršćavanje. U regionima sa temperaturama iznad nule u većem delu godine ne treba da se vrši zaštita kablova kada je temperatura ispod -5°C .

U oblastima sa niskim temperaturama problem zaštite mora da bude posebno ispitan i rešen.

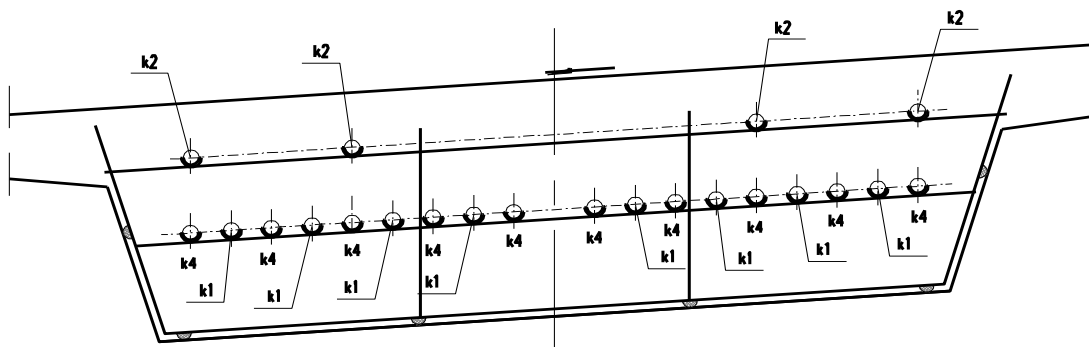
Cevčice za ubrizgavanje služe da cementna smesa pumpanjem ispuni sav slobodni prostor u cevima, kotvama i poklopcima. Cevčice za odvod vazduha su potrebne da bi vazduh, voda i deo emulzije mogao da izađe napolje. Najmanji unutrašnji prečnik ovih cevčica treba da bude 20 mm i da imaju mogućnost zatvaranja (zaptivanja) tokom ubrizgavanja.

Položaj cevčica za ubrizgavanje i odvod vazduha mora da omogući da cementna smesa ispuni sav slobodan prostor. Ubrizgavanje obično počinje od nižih ka višim tačkama.

Cevčice za ubrizgavanje i odvod vazduha se montiraju na kabl na najnižim mestima, na kotvama i na najvišim tačkama linije kabla.

Cementna injekciona smesa se priprema u električnim mutilicama gde se mešavina cementa, vode i aditiva pretvara u koloidnu smesu pogodnu za ubrizgavanje kablova. Ova injekciona masa se iz mutilice direktno prebacuje u posudu gde se preko priključaka nastavlja dalje blago mešanje uz istovremeno pumpanje u zaštitnu cev kabla.

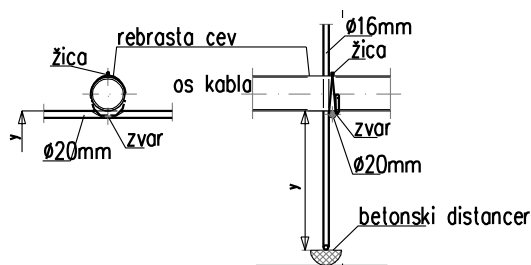
Pumpom se reguliše brzina i pritisak prilikom injektiranja i obezbeđuje se konstantan pritisak nakon završenog injektiranja u određenom vremenskom periodu.



Slika 9.10.10 Nosač kablova

Položaj kablova unutar preseka, nosećih elemenata kod prednapregnutih mostova, određuju nosači kablova. Nosači kablova su nezavisni od armaturnih koševa. Ugrađuju se na razmacima koji sprečavaju lokalne deformacije kablova (oko 1,0 m). Prečnik armature za nosače kablova zavisi od težine kablova, a mora da bude takav da sprečava pojavu izvijanja (uklona) i deformacija (za visinu do 1,0 m iznad oplate ϕ 16, a za visine veće od 1 m ϕ 20 mm).

Odstojanje nosača kablova od oplate reguliše se distancerima na isti način kao i kod armature. Kod nosača kablova zaštitni sloj mora da bude isti kao i kod armature.



Slika 9.10.11 Detalj nosača kablova

Položaj armature ne sme da ometa liniju kablova. Armatura mora da se prilagodi linijama kablova.

Potrebno je da se provere svi elementi opreme za prednaprežanje i sve faze u postupku prednaprežanja :

- visokovredni čelik i smesa za ubrizgavanje treba da se kontroliše prema odgovarajućim važećim propisima;

- kotve za ankerisanje i prednaprežanje treba da se kontroliše prema nostrifikovanom atestu sistema za prednaprežanje;
- kontrola cevi se vrši uz primenu atesta proizvođača,
- prese i pumpe za prednaprežanje treba da se kontroliše prema nostrifikovanom atestu proizvođača prese na svakih šest meseci.

Osnovni postupci koji se odnose na način prednaprežanja kabla zavise od vrste kabla i uređaja za prednaprežanje.

Koji od tri načelno različita načina prednaprežanja će se upotrebiti, zavisi od:

- dužine kabla,
- oblika osovine kabla,
- otpora trenja i
- mogućnosti uređaja za prednaprežanje.

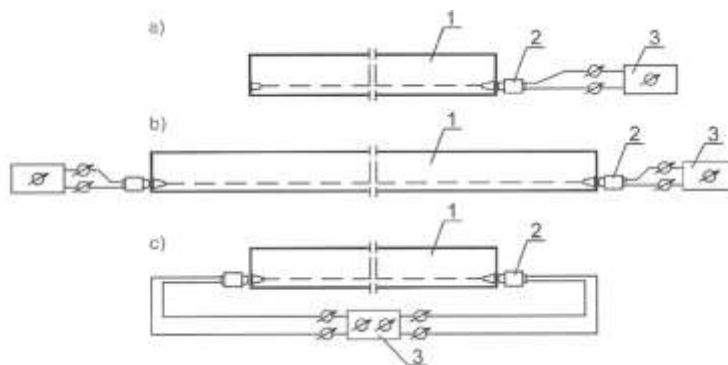
Ova tri načina prednaprežanja su:

- jednostrano prednaprežanje,
- dvostrano prednaprežanje sa nezavisnim pogonom prese i
- dvostrano prednaprežanje sa zajedničkim pogonom prese.

Najjednostavnije je jednostrano prednaprežanje koje se upotrebljava u slučaju ravnih ili malo zakrivljenih kablova ili u slučaju relativno kratkih kablova.

Važno je da otpor trenja nije prevelik i da se ne zahteva veći hod klipa prese.

Naravno, jednostrano prednaprežanje je neizbežno u slučaju samo jednostrane dostupnosti kotve.



Slika 9.10.12 Šema načina prednaprezanja

Ovakvo prenaprezanje može da se izvodi naizmenično, jedna polovina kablova sa jedne strane mosta, a druga polovina kablova sa druge strane. Time se postiže veći učinak prednaprezanja i smanjuje se uticaj pada sile zbog trenja i smanjenja sile prednaprezanja zbog uvlačenja klina.

Dvostrano prednaprezanje se upotrebljava u slučaju izrazito dugih i jače zakrivljenih kablova.

Dvostrano prednaprezanje može da se vrši presom nezavisnom ili zajedničkom pumpom sa svake strane kablova. Koja od ove dve mogućnosti će biti izabrana zavisi od tehničkih karakteristika prese, a naročito od raspoloživog hoda klipa prese.

9.10.5.2 Konstruktivna rešenja i detalji

Za primenu sistema prednaprezanja mostova projektant se odlučuje u fazi izrade glavnog projekta na osnovu tehničkih, konstruktorskih, ekonomskih i drugih uslova. Karakteristike sistema prednaprezanja su sastavni deo analize statičke i dinamičke stabilnosti, te nacрта i detalja noseće konstrukcije mosta.

Kablove za prednaprezanje treba projektovati tako da tokom celog veka eksploatacije konstrukcije ispunjuju svoju funkciju.

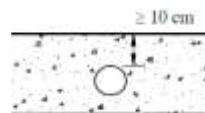
Za prednaprezanje glavnih nosača nosećih konstrukcija primenjuju se kablovi sa silama prednaprezanja od 1000 kN do 5000 kN.

U jednom nosaču treba projektovati najmanje tri kabla da otkazivanje jednog od kablova ne bi ugrozilo stabilnost mosta.

Prednaprezanje kolovozne ploče (podužno i poprečno) po pravilu nije poželjno, a ako je neophodno onda kolovozna ploča mora da

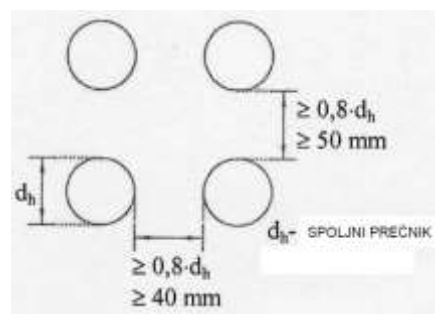
bude debela najmanje 28 cm, a kablovi se postavljaju u sredinu preseka i moraju da budu nespregnuti (zamenljivi).

Najmanja udaljenost od spoljne površine kabla do spoljne površine betona nosećeg elementa je 10 cm. A za poprečne kablove u kolovoznoj ploči treba postaviti u sredinu preseka.



Slika 9.10.13 Udaljenost kabla od površine betona

Udaljenost između kablova mora biti da bude veća od $0,8 \phi$ zaštitne cevi, ali ne manja od 5 cm u vertikalnom pravcu i 4 cm u horizontalnom.



Slika 9.10.14 Razmak među kablovima

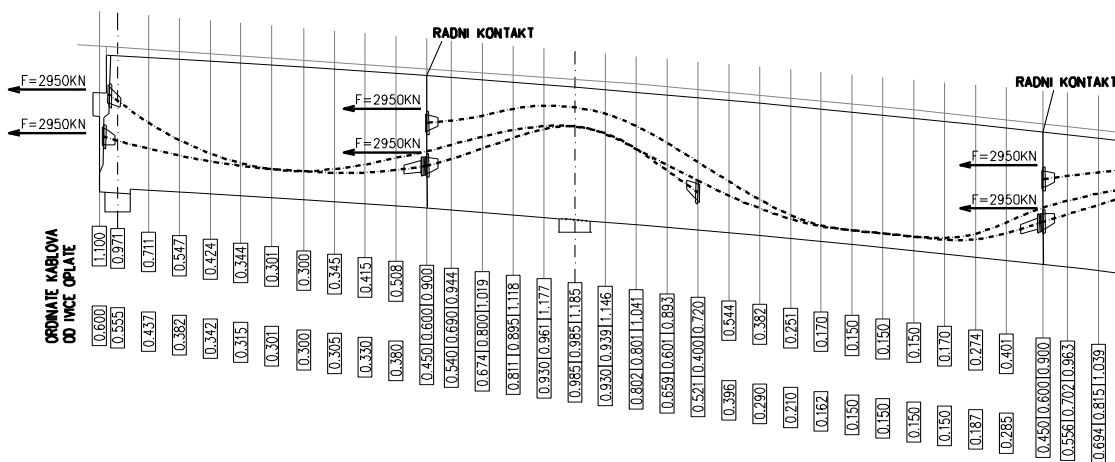
U praksi je najbolje da razmak među kablovima bude veći od prečnika zaštitne cevi ako u tehničkim dozvolama za pojedine sisteme nije drugačije određeno.

Prilikom određivanja najmanjih razmaka kablova potrebno je obratiti pažnju i na najmanje potrebne razmake za ugradnju i vibriranje betona. Podrobniju proveru

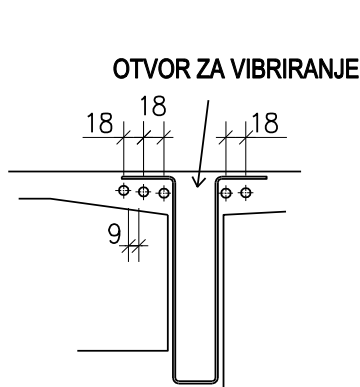
zahtevaju gusto armirana područja oko kotvi i kotvi za produžavanje.

Kod tankih elemenata kao što su rebra sandučastih nosača ne bi trebalo projektovati više od tri kabla jedan do drugog u

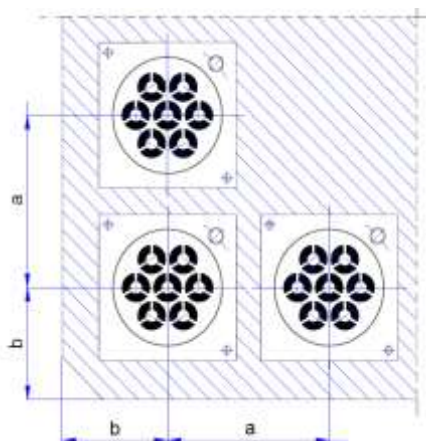
horizontalnom smeru bez razmaka za vibriranje. Širina otvora za vibriranje zavisi od opreme, a najmanje iznosi 10 cm od elemenata viših od 2 m.



Slika 9.10.15 Šema nacrta kablova



Slika 9.10.16 Otvor za vibriranje

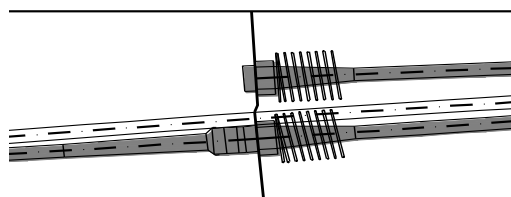


Slika 9.10.17 Položaj kotvi na čelu nosača

Razmak kotvi se po pravilu određuje u skladu sa tehničkim zahtevima svakog proizvođača sistema prednaprezanja. Ali uvek treba imati u vidu da razmak između kotvi zavisi od karakteristične čvrstoće betona za vreme prednaprezanja kablova i veličine sile u kابلu.

Produžavanje kablova kotvama za produžavanje po pravilu treba izbegavati. Bolje je upotrebljavati preklope ili dugačke kablove u jednom komadu.

U svakom preseku nosećeg elementa mora da bude najmanje 50% neprekinutih kablova.

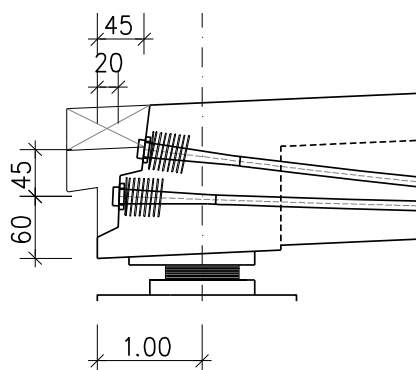


Slika 9.10.18 Radni kontakt sa spojnicom za produžavanje i aktivnom spojnicom



Slika 9.10.19 Detalj kotve za produžavanje

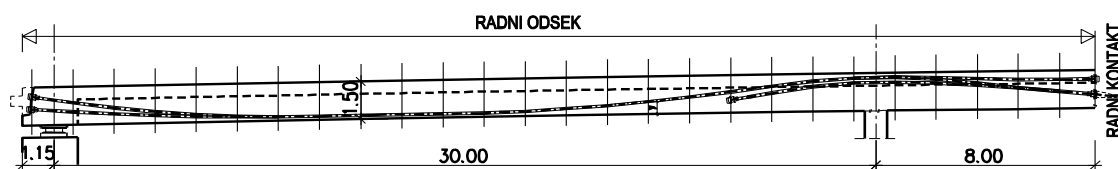
Kraj nosača treba ide najmanje 100 cm konzolno preko osovine podupiranja (ležišta) da sile prednaprezanja ne bi uticale na potporne sile i da bi se omogućili pravilno armiranje za prijem rascepnih sila.



Slika 9.10.20 Kraj nosača

Zabranjeno je da se kablovi iz nosača sprovode u gornji nivo kolovozne ploče. Svi kablovi treba da se završavaju na čelu nosača ili unutar preseka.

Horizontalne i vertikalne skretne sile koje nastaju usled otklona linije kablova treba preuzeti sa posebnim uzengijama.



Slika 9.10.21 Odsečak građen na skeli metodom polje za poljem

Za prvu fazu po pravilu se projektuju ravni kablovi što znači da je presek centrično prednapregnut. Najviša iskorišćenost se dobija ako se kablovi predvide u gornjoj i donjoj ploči sanduka. Polovina tih kablova završava se na kraju segmenta gradnje, a druga polovina proteže se do sledeće radne

Kod unosa sile prednaprezanja u kotvu treba predvideti posebnu armaturu za sile cepanja u horizontalnom i vertikalnom pravcu.

Delimično prednapregnuti beton nije poželjan za glavne podužne nosače za preuzimanje punog opterećenja u fazi eksploatacije. Konstrukcija treba da bude potpuno prednapregnuta za stalno opterećenje. Delimično prednapregnuti beton dozvoljen je u poprečnom pravcu mosta.

9.10.5.2.1 Prednaprezanje mostova izgrađenih u oplati na skeli

Osnovni način izgradnje prednapregnutih mostova je u oplati na skeli. Taj postupak ne podrazumeva neke posebne radnje i detalje sem onih koje su specifične za čitavu oblast gradnje objekata sa prednaprezanjem. Treba se pridržavati svih mera i uslova koje traži opšta tehnička specifikacija sistema prednaprezanja u pogledu veličine kotvi, razmaka između kotvi, razmaka između cevi kabla, udaljenosti kotvi i cevi za kabl od ivice betona, preuzimanje sile cepanja na sidrištu itd.

9.10.5.2.2 Prednaprezanje RK mostova građenih metodom potiskivanja

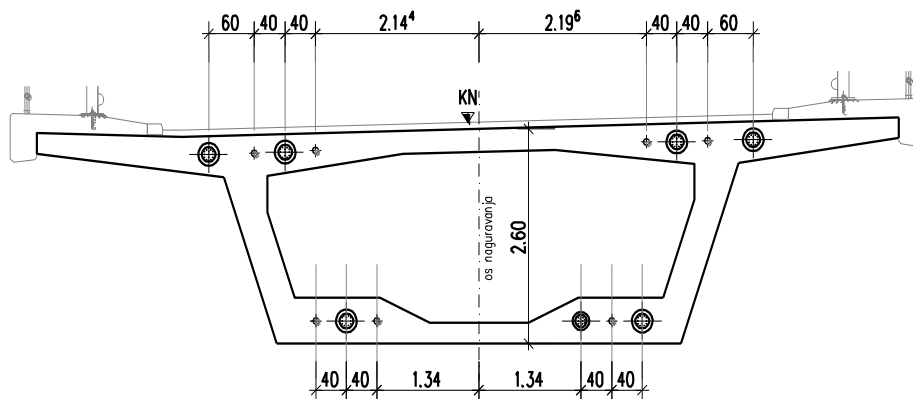
Kod gradnje metodom postupnog potiskivanja postoje specifičnosti u pogledu sprovođenja kablova u rasponskoj konstrukciji mosta. Po pravilu ovi objekti imaju sandučaste poprečni presek rasponske konstrukcije. Obično se projektuju dve grupe kablova. Prva faza kablova preuzima sva opterećenja kod potiskivanja. A druga faza dodaje se i preuzima sva dodatna opterećenja u fazi eksploatacije.

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 kod ovakvih mostova se ugrađuje tek kad je most doveden u svoju konačnu poziciju. Ovi kablovi prate opterećenje mosta pa se zato protežu u rebru po liniji parabole i ravnih delova. Ako je most duži, u konstrukciji treba predvideti dodatno

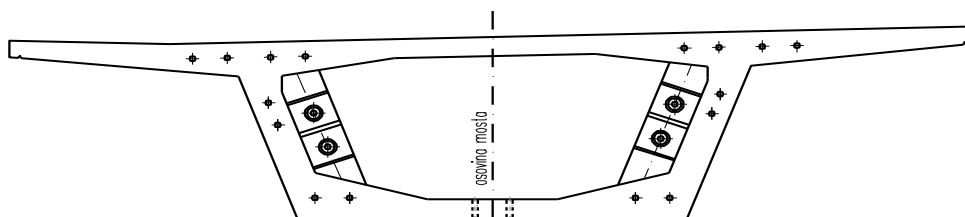
sidrište za kablove tek nakon potiskivanja da bi se iskoristila ista konstantna oplata. Na sidrištu se kablovi sa jedne strane mosta preklapaju sa kablovima sa druge strane. Po potrebi se projektuje toliko dodatnih sidrišta kablova da je dužina kablova do 100 m.



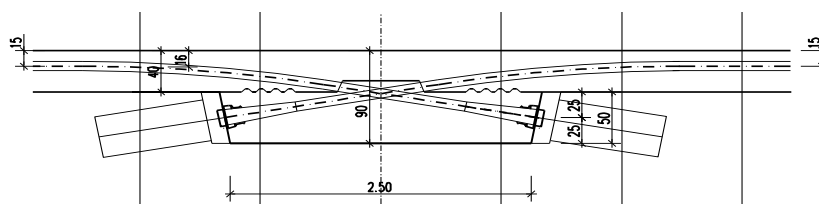
Slika 9.10.22 Karakteristični poprečni presek kod potiskivanja

Na sidrištima se zbog dužine kablova obično izvodi tzv. obostrano prednaprežanje. Treba voditi računa, da se ne prednaprežu svi

kablovi na sidrištu sa jedne strane ojačanja, nego jedan kabl sa jedne strane sidrišta, a zatim drugi kabl sa druge strane sidrišta.



Slika 9.10.23 Ojačanje preseka na mestu ankerisanja kablova



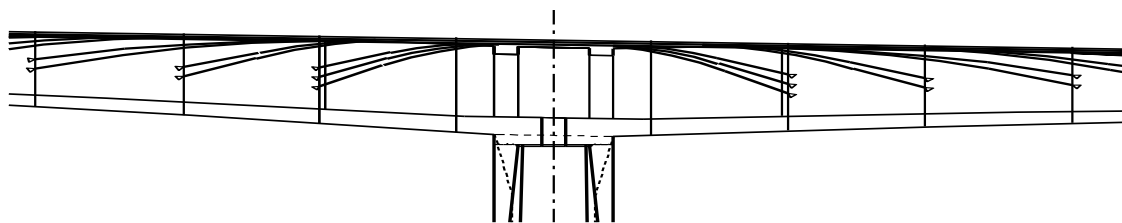
Slika 9.10.24 Osnova ojačanja preseka za smeštaj kotvi

9.10.5.2.3 Gradnja RK grede mosta po postupku slobodne konzolne gradnje

Za savladavanje velikih raspona ili relativno visokih mostova primenjuje se postupak slobodne konzolne gradnje. Posle izrade stuba na njemu se izrađuje tzv. sto. Sa stuba se levo i desno grade lamele dužine od

približno 5 m čiju težinu može da preuzme posebna skela.

U postupku ovakve izrade kablovi se sinhronizovano ugrađuju i prednaprežu. Kad su odsecci sa leve i desne strane zabetonirani, uvlače se kablovi, a kad beton postigne približno 70% karakteristične otpornosti na pritisak izvršava se prednaprežanje segmenata.



Slika 9.10.25 Kablovi na stolu

9.10.5.2.4 Prednaprezanje montažno monolitiziranih rasponskih konstrukcija mostova

Prednapregnuti montažni nosači mogu da se koriste samo u vezi sa monolitnom kolovoznom pločom tako da se ostvari sprega montažnog i monolitnog betona.

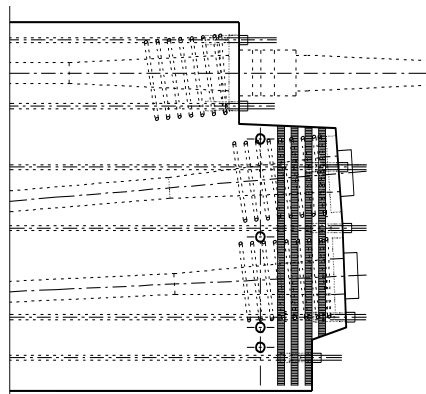
Preuzimanje momenata na srednjim stubovima od kontinuiranja nosača može da bude izvedeno mekom armaturom ili kablovima za kontinuiranje.

Upotreba kablova za produžavanje specifična je po tome da je na raspolaganju veoma malo prostora za vođenje kablova.

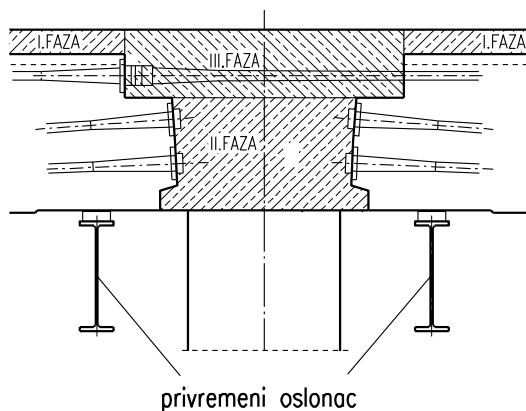
Zbog propisanih rastojanja centra kotvi od ivice betona rebra nosača treba da budu široka najmanje 40 cm.

Krajevi AB montažnih nosača treba da bude minimalno 30 cm uvučeni u monolitni poprečni nosač iznad oslonaca.

Ako je most sastavljen od više raspona onda RK treba da se gradi u više faza. Nakon betoniranja kolovozne ploče iznad nosača betoniraju se poprečni nosač iznad oslonca do visine kontinuiranih kablova. Nakon montiranja kotvi za produžavanje i kablova za produžavanje betonira se zadnji deo poprečnog nosača iznad oslonca, a nakon toga vrši se prednaprezanje kontinuiranih nosača.



Slika 9.10.26 Zaključak montažnog nosača



Slika 9.10.27 Presek iznad srednjih oslonaca

9.10.6 PREDNAPREZANJE SA NESPREGNUTIM KABLOVIMA U PRESEKU I VAN PRESEKA

U savremenoj mostogradnji, posebno za veće raspone i značajne objekte preporučuje se upotreba spoljašnjih kablova bez sprezanja sa betonom. Taj način prednaprezanja obezbeđuje bolju antikorozivnu zaštitu, mogućnost zamene kablova i ima i druge prednosti. Objekti prednapregnuti spoljašnjim kablovima su za oko 5% skuplji, ali su zato troškovi održavanja manji.

Prednaprezanje nespregnutim kablovima može da bude:

- **izvan betonskog preseka** – naknadno prednapregnuti kabl se nalazi izvan betonskog preseka u visini RK ili izvan nje. Veza između kablova i konstrukcije vrši se preko kotvi i devijatora,
- **u betonskom preseku** – naknadno prednapregnuti kabl se nalazi u preseku, ali je bez sprege sa betonom oko njega. Ovakvi kablovi se upotrebljavaju pogotovo za poprečno prednaprezanje kolovoznih, ploča
- **kombinovana izvedba** – deo podužnih prednapregnutih kablova se po čitavoj dužini nalazi u sprezi sa okolnim betonom, a drugi deo prednapregnutih kablova je van preseka. Kod ovog načina sprovođenje prednapregnutih kablova u rebru nije dozvoljeno.

9.10.6.1 Prednosti prednaprezanja nespregnutim kablovima

Prednaprezanje sa nespregnutim kablovima u celini ili delimično izvan betonskog preseka ima mnoge prednosti:

- osetno se poboljšaju uslovi ugrađivanja betona, jer više nema prepreka koje predstavljaju cevi kablova, bolji uslovi ugrađivanja betona daju veću garanciju za održivost betonske konstrukcije. Debljina preseka može da se smanji, što utiče na sopstvenu težinu konstrukcije,
- poboljšani su uslovi ugrađivanja kablova za prednaprezanje – za sve kablove koji su izvan betonskog preseka nema problema sa smeštajem cevi osim za opremu za ankerisanje i devijatore,
- olakšano je nameštanje cevi za kablove koji ostaju u preseku, jer je njihov broj smanjen a oblik jednostavan,
- smanjeni su gubici u kابلu zbog trenja,
- nema opasnosti od povećanja gubitaka zbog ugaonih devijacija do kojih dolazi

- zbog lošeg nameštanja kablovskih cevi ili pomeranja tih cevi kod betoniranja,
- gubici u kablovima su samo na području u kojem kablovi idu kroz betonski presek, a to su mesta sa kotvama i devijatorima,
- problemi kod uvlačenja kablova su bitno manji,
- mogućnost zamene kablova,
- jednostavno dodavanje kablova kod ojačavanja konstrukcije,
- poboljšani su uslovi kod ubrizgavanja, jer su kablovi lakše dostupni
- pošto se kablovi ne vode u rebrima, smanjuje se njihova debljina, a time i težina konstrukcije. Time se povećava stvarna održivost konstrukcije, jer je smanjen broj ili nema otvora za kablove, a koji često predstavljaju slabe tačke u konstrukciji;
- upotreba delimično prednapregnutog betona je manje rizična u pogledu pukotina u betonu, jer kablovi u cevima sa injekcionom masom i nisu izloženi koroziji kao što je to u slučaju prednaprezanja sa spregnutim kablovima. To naročito važi kad su u konstrukciji svi kablovi bez sprezanja i linija kablova ne prelazi visinu preseka

Prednaprezanje nespregnutim kablovima se naviše upotrebljava kod monolitne gradnje mostova sandučastog preseka koji se grade po tehnologiji:

- postupno potiskivanje,
- jednostavne konzolne gradnje.

Kablovi za prednaprezanje bez sprezanja mogu da se sprovoditi u celini izvan preseka ravno ili poligonalno. Jedan deo kablova može da bude u preseku sa sprežanjem, a deo kablova izvan preseka.

Vođenje kablova zavisi od geometrije RK.

Ekonomiju građenja mostova sa nespregnutim kablovima u velikoj meri određuje sprovođenje kablova i zavisi od tehnologije gradnje RK.

Razvoj tehnike prednaprezanja nespregnutim kablovima van preseka je inicirao i omogućio rehabilitaciju brojnih betonskih prednapregnutih mostova.

Osnovni princip ojačanja je povećanje graničnog stanja nosivosti i upotrebljivosti sa kablovima koji su smešteni van preseka, ankerisani u krajnim elementima nosećeg sistema i preusmereni preko devijatora iznad oslonca i u polju RK.

9.10.6.2 Nedostatak prednaprezanja nespregnutim kablovima

Kablovi za prednaprezanje izvan preseka su mnogo više izloženi svim oblicima agresije okoline nego kablovi u preseku. Naročito su kablovi osetljivi na vatru.

Ako su komunalne instalacije nameštene u unutrašnjosti konstrukcije mosta može da dođe do ugrožavanja bezbednosti, jer već jednostavne intervencije na održavanju vodova mogu da ugroze kablove.

Zbog toga su kod mostova zatvoreni sanduci primereniji od otvorenih preseka. Pa i kod zatvorenih preseka u slučaju kablova van preseka treba sprečiti nepoželjan pristup kablovima.

Iako je kod prednaprezanja van preseka bitno pojednostavljeno nameštanje kablovskih cevi time što se postavljaju samo na pojedinim mestima gde kablovi idu kroz beton (kotve i devijatori), cevi treba postaviti veoma precizno. Jer kabl van preseka između dva prolaza kroz betonske preseke ide samo u ravnoj liniji, pa svaka greška u orijentaciji cevi može da rezultira ugaonu grešku, što znači povećanje gubitaka zbog trenja i generira parazitne napone u kabl u kao i u okolnom betonu.

Upotreba prednaprezanja bez sprežanja logično ide prema upotrebi jačih kablova da bi se njihov broj smanjio i olakšalo održavanje. Tako se upotrebljavaju kablovi 12 ϕ 15,2 mm i jači, a ne više od 19 ϕ 15,2 mm. Kod ovakvih kablova je potrebno koristiti veće i teže preseke za prednaprezanje, tako da već u projektu treba predvideti mere za nameštanje i uklanjanje presa.

9.10.6.3 Ekonomski aspekti

U celini je za konstrukcije teško postaviti ekonomsko poređenje među rešenjima konvencionalnog i prednaprezanja bez sprežanja. U poređenju količine potrebnog materijala i jedinici cene mnogi činioci deluju kontradiktorno.

Upotreba prednaprezanja bez sprege u celini smanjuje betonske preseke i posledično smanjuje težinu konstrukcije i napone zbog sopstvene težine. Ova prednost je delimično smanjena zbog preusmerenih elemenata i elemenata ankerisanja.

Kod jednakog efektivnog napona prednaprezanje sa nespregnutim kablovima

je često manje efikasno od prednaprezanja sa spregnutim kablovima zbog:

- jednostavnog poligonalnog toka kabla,
- male ekscentričnosti u kritičnim presecima,
- smanjene mogućnosti prednaprezanja u smislu ponašanja konstrukcije u graničnom stanju nosivosti.

A sa druge strane kabl za prednaprezanje bez sprege zbog smanjenog trenja ima uvek veću korisnu silu od kabla sa spregom.

Troškovi prednaprezanja bez sprege za istu količinu čelika za prednaprezanje su veći od prednaprezanja sa spregom i to zbog:

- prirode specifičnih materijala (cevi, posebni uređaji pogotovo kod kotvi) za koje važe posebna pravila i odredbe,
- teškoće kod smeštanja oplatnih cevi koje prolaze kroz beton,
- problema kod rukovanja opremom za prednaprezanje.

U pogledu ovih činjenica mogu da se izvedu samo opšti zaključci:

U smislu početnih troškova, prednaprezanje bez sprežanja je povoljnije samo u slučaju ako njime može da se smanji težina konstrukcije.

Prednaprezanje nespregnutim kablovima ima različite značajne koristi jer omogućuje:

- značajno poboljšanje kvaliteta i trajnost konstrukcije,
- olakšane preglede konstrukcije, a time i smanjenje troškova održavanja,
- ojačanja kod sanacija mostova gde je to jedino moguće rešenje.

9.10.6.4 Tehnika, tehnologija i zaštita od korozije

Tehnika, tehnološke procedure i rešenja dozvoljavaju zamenu kablova u sledećim slučajevima:

- ako je namešten dvostruki plašt kod kablova koji su injektirani cementnom suspenzijom;
- ako su kablovi ubrizgani primenom fleksibilnog materijala, voskom životinjskog ili mineralnog porekla;
- ako su upotrebljeni galvanizovani kablovi koji ostaju bez dodatne zaštite ili su postavljeni u neubrizganim cevima;
- ako su upotrebljeni jednožilni kablovi zaštićeni plaštom i vezani u snopove.

9.10.6.4.1 Kablovi za prednaprezanje u preseku bez sprežanja

Za prednaprezanje u preseku bez sprege kod kojeg se kablovi nalaze unutar betonskog preseka danas se upotrebljavaju isključivo kablovi od jednog užeta (monokabl) ili najviše od četiri užeta u paketu.



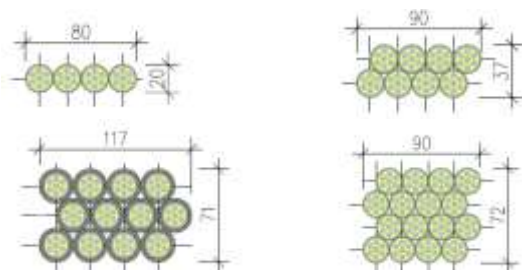
Slika 9.10.28 Kabl od jednog užeta (monokabl)

Užad za prednaprezanje je sastavljena od sedam žica, kvaliteta 1570/1770 Mpa preseka 150 mm^2 . Užad je u fabrici pokrivena sa neprekidnim slojem masti za trajnu zaštitu protiv korozije i nakon toga zaštićena je sa najmanje 1,5 mm debelom stenom cevi od polietilena ili polipropilena (PE). Cev sprečava da antikorozivna mast izađe i nudi zaštitu od mehaničkih uticaja.

Elementi ankerisanja kablova se poslemontaže takođe napune antikorozivnom mašću i zatvore poklopcem.

9.10.6.4.2 Kablovi za prednaprezanje van preseka bez sprežanja

Trend razvoja ovih kablova je da se više jednožilnih kablova u fabrici zaštititi od korozije, slože jedan pored drugoga, oplašte svakog posebno i pomoću distancera povežu u pločaste trake. Jedna verzija ovog postupka je implementacija duplo ekstrudiranog pločastog prednapregnutog kabl.



Slika 9.10.29 Primeri pločastog kabl

Ova vrsta kablova treba da zadovolji potrebe koje odstupaju od uslova za konvencionalne kablove za prednaprezanje sa sprežanjem:

- među ankerima treba da bude obezbeđena efikasna antikorozivna zaštita
- za promene smera kabl potrebni su elementi – preusmerna sedla koja preuzmu sve rezultirajuće statičke vrednosti i prenose ih u konstrukciju,
- mesta ankerisanja kotvi treba da budu projektovana sa propisanom sigurnošću na veće početne sile prednaprezanja koje nastanu zbog pogodnijeg ponašanja kablova u pogledu zamora;
- za promene uglova koje su uslovljene deformacijama između fiksnih tačaka i kablova (kotva, sedlo za preusmeravanje) potrebno je naći konstruktivna rešenja.

9.10.6.4.3 Promenljivi kablovi injektirani sa cementnom suspenzijom u slučaju duplog omotača

Za lakše uklanjanje kablova treba predvideti dupli omotač gde kabl prolazi kroz betonski presek. U ovakvim slučajevima treba uzeti u obzir sledeće informacije:

- omotač je od neprekinute visoko guste polietilenske cevi (HDPE);
- u sidrištima i preusmernim sedlima kabl smešta unutar čeličnog omotača;
- na mestu gde kabl prolazi kroz beton, linija kabl je prava ili kružna. Time je omogućeno trajno slobodno kretanje napred i nazad;
- dupli omotač mora da dozvoli izduženje dela između zadnje strane ankerske kotve i kabl.

Oplatne cevi mogu da budu polietilenske HDPE cevi koje mogu da se vare ili spojene od HDPE- ili čelika ili čelične cevi čija je debljina zidova veća od 3 mm i koje se spajaju varenjem.

Kablove van preseka koji su ubrizgani sa cementnom suspenzijom treba uklanjati veoma pažljivo zbog mogućnosti nesreće na radu u slučaju iznenadnog loma kabl.

9.10.6.4.4 Izmenljivi kablovi, ubrizgavanje sa fleksibilnim materijalom

Druga mogućnost za izmenu kablova van betonskog preseka je da budu ubrizgani sa savitljivom supstancom koja omogućuje prednaprezanje, popuštanje i odstranjivanje kablova.

Provereno je više različitih materijala koji kod obične temperature okoline iskazuju veliki viskozitet koji omogućuje da ovi materijali ostanu u plaštu kabl i da ne iscure van.

Masti se mogu da se iniciraju na temperaturi od 40°C i na temperaturi od 80 do 90°C. Niska temperatura traži relativno visok pritisak od 1,5 do 2 Mpa, više mesta iniciranja i zaštitne cevi koje mogu da izdrže visoke pritiske. Cevi treba da budu nepropustive.

Visoka temperatura sredstva za ubrizgavanje iziskuje nepropustive omotače kabla koji mogu da izdrže visoke temperature. Postupak iziskuje mnogo opreme i ljudstvo.

Masti životinjskog porekla i voskovi mineralnog porekla imaju deset puta viši koeficijent toplotnog rastezanja nego čelik ili beton. Ako masti ili voskovi kod normalne temperature potpuno popune oplatnu cev, bitno povećanje temperature uzrokuje nepoželjan viši pritisak u cevi i može da dođe do isticanja ovih masti ili voska. Zbog toga je kod ubrizgavanja na niskim temperaturama oko 40°C potrebno da se postave ekspanzione komore za masti ili voskove. Veličina komora određuje se na ekstremne temperature za čitav vek trajanja konstrukcije.

9.10.6.5 Konstruisanje spoljašnjih kablova

Za razliku od konvencionalnog prednaprezanja unutar betonskog preseka sa spregnutim kablovima, sile prednaprezanja van betonskog preseka bez sprege ne deluju u masi betona nego van preseka. Zbog toga je neophodno da se kablovi ankerišu u masivnom delu glavne konstrukcije.

Ankerisanje spoljašnjih kablova u ankerske bradavice koje su smeštene na rebrima sandučastih nosača, ali povezane sa pločama, je razumljivo teže nego ankerisanje kablova sa spregom. Kod povezivanja bradavica, rebara i dijafragmi sa ostalom konstrukcijom pojavljuju veliki smičući naponi. To objašnjava zašto su kod većine mostova prednapregnuti kablovi van preseka ankerisani na robusnim poprečnim nosačima glavne noseće konstrukcije koji su namešten

iznad srednjih stubova, gde svojom težinom ne utiču bitnije na konstrukciju.

Dozvoljeni su samo takvi postupci prednaprezanja za koje postoji dozvola za upotrebu sa svim zahtevanim atestima. Dozvoljena sila prednaprezanja jednog kabla ne sme da prelazi približnu vrednost 3 MN.

Treba obezbediti mogućnost za kasnije dodatno prednaprezanje ili zamenu kablova. Sve radove treba dokazati u okviru glavnog projekta za izvođenje. Izvođač radova treba da obezbedi uputstva za rad u svim postupcima koji su sastavni deo projekta za izvođenje i projekta izvedenih radova.

Zahtev za kasnije dodatno prednaprezanje ili zamenu kablova traži prilično povećanje kontrolnih komora na krajnjim osloncima mostova, zbog mesta za namešte presa za prednaprezanje i elastičnog izduženja kabla.

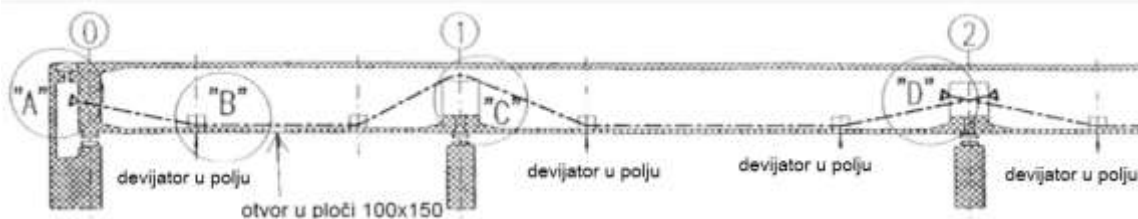
Zbog toga se obično projektuju aktivne kotve iznad krajnjih oslonaca, gde obično ima mesta za nameštanje presa.

Žice kabla koje proizlaze iz aktivne kotve mogu da se odseku na dužini koja je zbir dužine koja je potrebna presi da zahvati žicu kod prednaprezanja i veličine elastičnog izduženja.

Ukupna dužina kabla za prednaprezanje bez sprežanja između dva konačna sidrišta ne sme da bude veća od približno 400 m. Radi rukovanja sa kablom preporučljiva dužina iznosi 200 m.

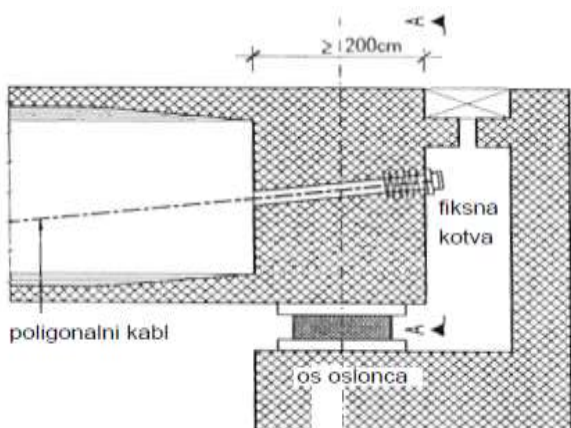
U projektu treba detaljno obezbediti mere za kasnije pojačanje i rekonstrukciju prema veličini, statičkim uticajima, vođenju kablova, načinu transporta kablova u nosač i načinu montaže kablova.

Treba Predvideti trajne otvore i mesta za montažu i prednaprezanje dodatnih kablova bez sprege. Cevi za odvodnjavanje mosta ili ostale vodove treba da se sprovedu tako da kod naknadnog ugrađivanja kabla nisu potrebni dodatni radovi, odnosno radi se o neznatnim radovima.



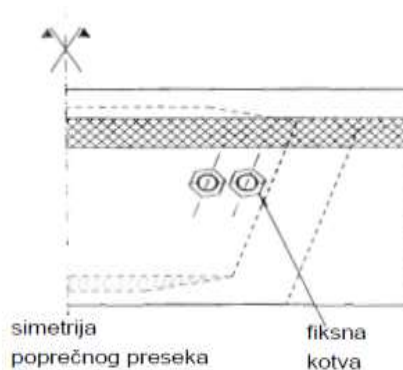
Slika 9.10.30 Šematski prikaz vođenja spoljnih poligonalnih kablova

Sidrišta kablova, devijatori i otvori za sprovođenje kabla treba da budu izvedeni tako da je u dodatno projektovanom uglu preusmerenja dozvoljena tolerancija $\pm 3^\circ$ sa obe strane preusmerenja. Kod otvora za sprovođenje kabla u projektu treba obezbediti da ugao preusmerenja bude 0° . Tolerancija važi na mestu ankerisanja prednapregnutog kabla samo na mestu izlaska iz ankerskog elementa prema slobodnoj dužini.



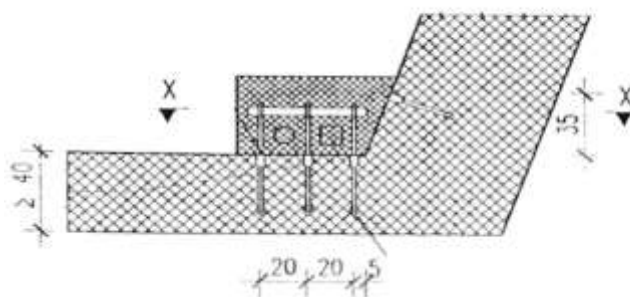
Slika 9.10.31 Ankerisanje kabla u prečniku – detalj A

Mesta ankerisanja i devijatori treba da budu dimenzionani prema redosledu prednaprezanja koji rezultira na osnovu redosleda gradnje, kao i na kasniju mogućnost zamene kabla odnosno naknadnu instalaciju dodatnog kabla.

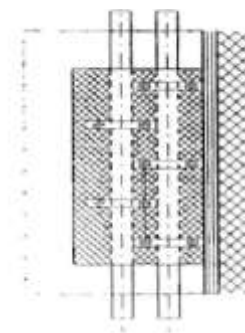


Zbog mogućnosti kontrole, između dva paralelna kabla mora da bude najmanje 8 cm. Na mestu sidrišta treba da se uzmu u obzir sva propisana rastojanja između kotvi prema tehničkim specifikacijama proizvođača kablova.

Ako su rastojanja između sidrišta i devijatora prevelika, između njih treba smestiti specijalnu opremu za pridržavanje kabla. U praksi to znači ograničenje od 30 m za putne mostove i od 10 do 20 m za železničke.



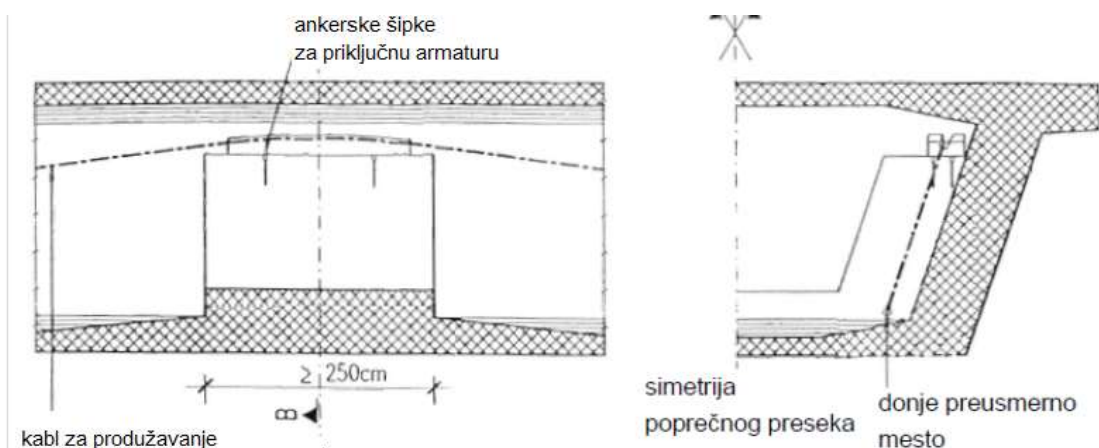
Slika 9.10.32 Devijator u polju – detalj B X-X



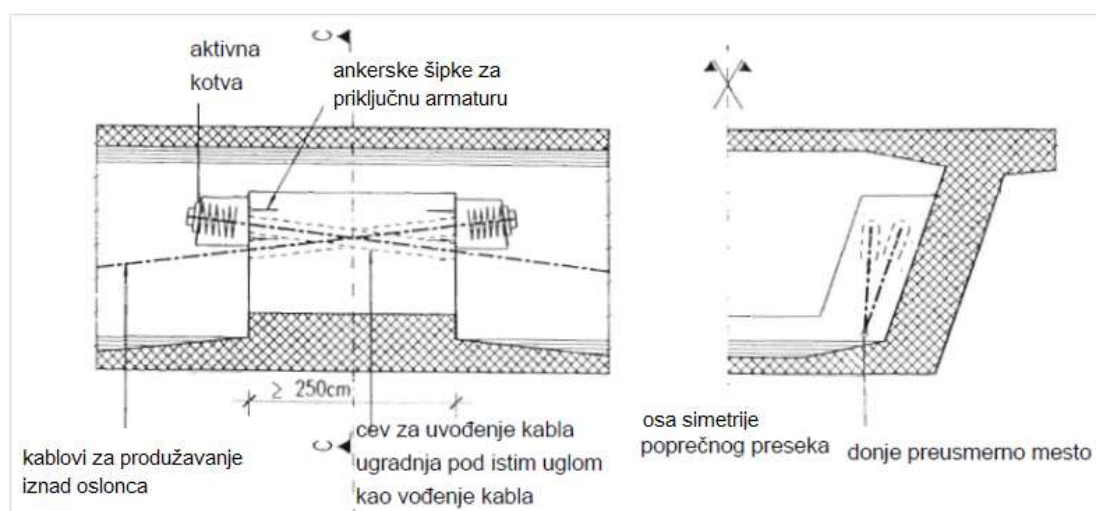
Uslovi koji obezbeđuju pravilnu montažu, održavanje i demontažu kablova su:

- omogućen pristup kablovima,
- slobodno kretanje oko kablova za montažere, instalatere, nadzor, osoblja za održavanje,
- mesto za minimalnu opremu (rasveta, ventilacija, privremene skele, šine za prese...)

Na osnovu svih ovih uslova i dodatnih činjenica, jednostavno se dolazi do zaključka da su sandučasti preseci i preseci rebrastog oblika idealni tipovi RK mostova koji dolaze u obzir za projektovanje sa prednapregnutim kablovima bez sprege. Jedini dodatni uslov je minimalna visina preseka od 2.0 m.



Slika 9.10.33 Devijator iznad srednjeg stuba – detalj C



Slika 9.10.34 Ankerisanje kablova u prečniku iznad oslonca – detalj D

9.10.7 KOMERCIJALNI SISTEMI ZA PREDNAPREZANJE

U svetu postoji veliki broj sistema za prednaprezanje. Ovde su nabrojani neki najpoznatiji koji se koriste na ovim prostorima i u okruženju. Veoma je važno da svaki sistem ima Evropsku tehničku dozvolu za upotrebu.

Sistem SPB SUPER

Razvijen je višegodišnjim istraživanjem u Institutu IMS, a testiran u laboratorijama Instituta IMS i Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Sistem SPB SUPER predstavlja dalji razvoj tehnologije prednaprezanja po sistemu SPB. Dalji razvoj podrazumeva primenu užadi, kao i čelika za prednaprezanje, koji su uvedeni evronormom EN 10138/1999 i evropskim propisom EC2 prihvaćenih kao propisa.

Sistem SPB SUPER bazira se na primeni užadi nominalnog prečnika 15,2 i 16,0 mm sa kompletnom tehnologijom i opremom za sile od 200 do 7700 kN. Primenjuje se za naknadno prednaprezanje betona, geotehničkih sidara, kosih kablova mostova, za specijalne radove i dr.

Sistem Freyssinet

Sistem Freyssinet je najstariji sistem za prednaprezanje. Danas ima razrađene tipove kablova sa tri užeta pa sve do 55 užadi nominalnog prečnika 15,2 mm.

Kablovi sistema mogu da se koriste za prednapregnuti beton sa ili bez sprezanja sa okolnim betonom.

Sistem BBRV

Tri švajcarska građevinska inženjera M. Birkenmaier, A. Brandestin i M. R. Roš formirali su studijsku grupu pod imenom BBR i u saradnji sa mašinskim inženjerom C. Vogtom pronašli i izradili tehnologiju za

prednaprezanje betonskih i drugih konstrukcija pod imenom Sistem BBRV.

Sistem Vorspann-Technik

Na osnovi Freyssinetovog patenta razrađen je i proširen sistem Vorspann-Technik. Koriste se pojedinačne žice, šipke, užad te snopovi žica i užadi. Najčešće se koristi užad.

Sistem Dywidag

Tvrtka Dywidag vlasništvo Dyckerhoff & Widmann iz Münchena proizvodi sisteme najviše tehnologije od pojedinačnih šipki, te one od užadi.

Vorspann-Brückentechnologie VBT

Austrijska firma koja proizvodi sisteme kablova za unutrašnje prednaprezanje sa i bez sprezanja, sisteme kablova za spoljašnje prednaprezanje i poseban sistem kablova – spoljašnjih ili unutrašnjih, gde je moguće promeniti uže po uže. To je veoma važno kod rekonstrukcija objekta ili kod oštećenih kablova.