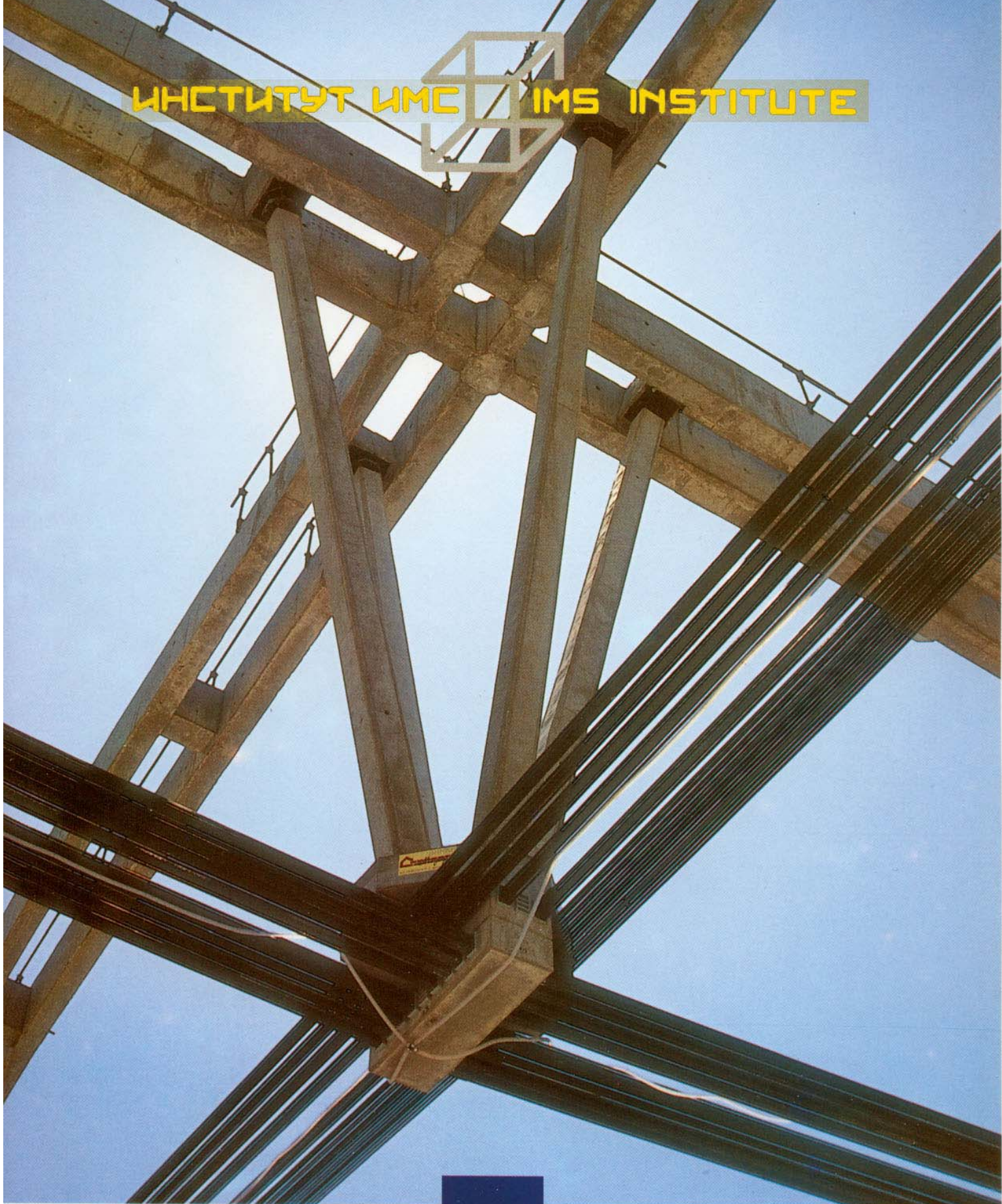


ИНСТИТУТ ИМС IMS INSTITUTE



SISTEM PREDNAPREZANJA

SPB

Ovaj specijalni broj biltena IMS posvećen je sistemu prednaprezanja SPB.

Sistem SPB za prednaprezanje užadima primenjuje se od 1982. god. u Jugoslaviji i drugim zemljama. Razvijen je posle višegodišnjih istraživanja u Institutu za ispitivanje materijala SR Srbije (IMS) u Beogradu. Poznat je po jednostvanosti, sigurnosti i racionalnosti. Primenjuje se za naknadno prednaprezanje betona, stenskih ankera, čeličnih ili kombinovanih konstrukcija, u procesu montaže konstrukcija i dr.

SPB sistem zasnovan je na užadima prečnika 12,5 mm (0,5") i 15,2mm (0,6"), standardnog kvaliteta i čije karakteristike su u skladu sa jugoslovenskim i drugim nacionalnim standardima.

Sistem za prednaprezanje SPB raspolaže kompletnom tehnologijom za različite primene i opremom za sile od 120 do 6400 kN. Vrste kotvi i odgovarajuća oprema izabrani su tako da omogućavaju prednaprezanje od manjih nosača do najvećih konstrukcija.

SPB sistem je zaštićen sa više patenata. Autor sistema je Mr Branimir Grujić, dipl. inž., a korisnik Institut IMS.

SPB sistem se koristi takodje i kod prednaprezanja betona putem prijanjanja. U ovom broju date su opšte informacije o sistemu za naknadno prednaprezanje betona.

UREDNIK

SADRŽAJ

1.0 OPIS SISTEMA

1.1	Opšti podaci	2
1.2	Čelik za prednaprezanje	2
1.3	Kotve i kablovi	2
1.4	Oprema	3
1.5	Gubici sile prednaprezanja	3
1.5.1	<i>Uvlačenje klina</i>	4
1.5.2	<i>Elastično skraćenje</i>	4
1.5.3	<i>Trenje</i>	4
1.5.4	<i>Relaksacija čelika</i>	4
1.5.5	<i>Skupljanje i tečenje betona</i>	4

2.0 TEHNIČKI PODACI I DETALJI

2.1	Osnovni podaci o kablovima	5
2.2	Mere i detalji kotvi	6
2.2.1	<i>Normalna kotva</i>	6
2.2.2	<i>Fiksna kotva</i>	7
2.2.3	<i>Nastavna kotva</i>	8
2.3	Detalji za projektovanje i izvođenje radova	9
2.3.1	<i>Raspored kablova i kotvi</i>	9
2.3.2	<i>Oslanjanje i fiksiranje kablova</i>	9
2.3.3	<i>Linija kabla</i>	10
2.3.4	<i>Postavljanje kotve</i>	10
2.3.5	<i>Prostor za postavljanje i rad prese</i>	10
2.4	Oprema	11
2.4.1	<i>Prese</i>	11
2.4.2	<i>Pumpe</i>	12
2.4.3	<i>Oprema za zaštitu kablova</i>	12

3.0 IZVOĐENJE RADOVA

3.1	Izrada kablova	14
3.2	Postavljanje kablova	14
3.3	Prednaprezanje	14
3.4	Zaštita kablova i kotvi	15

1. OPIS SISTEMA

1.1. Opšti podaci

Sistem prednaprezanja SPB prvenstveno služi za prednaprezanje očvrsllog betona ili za istezanje pojedinačnih užadi pri prednaprezanju putem prijanjanja na stazama za proizvodnju prefabrikovanih elemenata. Takođe se koristi za prednaprezanje drugih materijala, konstrukcija i stenskih anкера, kao i za podizanje tereta, u montaži konstrukcija i dr.

Kao čelik za prednaprezanje koriste se užadi prečnika 12,5 i 15,2 mm, sastavljena od 7 žica, a za prednaprezanje prijanjanjem, pored ovih, i užadi manjih prečnika sa 2,3 ili 7 žica.

Istezanje užadi pri prednaprezanju vrši se pojedinačno do četiri užeta u kابلu, a skupno od šest pa nadalje.

Broj i prečnik užadi u kابلu definisani su u okviru sistema u zavisnosti od potreba u projektovanju uvažavajući i razloge ekonomičnosti. Kablovi se kod naknadnog prednaprezanja postavljaju u metalne ili plastične fleksibilne cevi i u slobodne kanale.

Osnovni element sistema je kotva koja se sastoji iz jednog ili više trodelnih klinova, čaure ili ankerne ploče i podložne ploče. Svako uže se posebno ukotvljava u čauru ili ankeru ploču koja preko podložne ploče prenosi silu na beton.

Opremu za prednaprezanje čine hidraulična presa višestrukog dejstva i odgovarajuća pumpa. Ova oprema mora biti usklađena sa tipom kabla i kotve. Mutilica sa pumpom za injektiranje služi za zaštitu kablova.

Bitne osobine SPB sistema za prednaprezanje su sledeće:

- krojenje kablova na približnu dužinu iznad minimalne,
- prednaprezanje u jednoj ili više faza uz mogućnost otpuštanja sile (po posebnom zahtevu),
- nema nekontrolisanih proklizavanja pri prednaprezanju,
- nema proklizavanja posle ukotvljavanja i
- precizno određivanje sile i izduženja kabla.

Sva ispitivanja i kontrola kvaliteta sistema SPB i njegovih komponenata vrše se u Institutu za ispitivanje materijala RS u Beogradu u skladu sa „Preporukama za prihvatanje i primenu sistema za naknadno prednaprezanje“ Međunarodne federacije za prednaprezanje (FIP).

U daljem tekstu ove monografije biće reči samo o sistemu SPB za naknadno prednaprezanje.

1.2. Čelik za prednaprezanje

U svetu se proizvodi vrlo širok asortiman užadi koja se koriste kao čelik za prednaprezanje. Za sistem SPB odabrana su užadi sastavljena od 7 žica, izrađena od patentira-

nog hladno vučenog čelika i naponski opuštenog nakon pouzavanja, sa normalnom ili niskom relaksacijom. Prečnik užadi je 12,5 mm (0,5") iji 15,2 mm (0,6"). Ovo su danas najstandardniji proizvodi na svetskom tržištu.

Karakteristike užadi prikazane su u tabl.1. Odgovaraju jugoslovenskom standardu, - „Pravilnik o tehničkim normativima za čelične žice, šipke i užadi za prednaprezanje konstrukcija“ (Sl. list SFRJ, 41/1985), evropskom, - EURONORM 138-79, i drugim svetskim standardima.

Karakteristike užadi standardnog kvaliteta Tabl. 1

Nazivni prečnik	Ø	12,5		15,2	
		jed.mere	vrednost	toleranc.	vrednost
Prečnik (d)	mm	12,5	+0,4 -0,2	15,2	+0,4 -0,2
Nazivna čvrstoća (f)	N/mm ²	1770		1670	
Površina preseka (A)	mm ²	93	+4% -2%	139	+4% -2%
Masa (g)	kg/m	0,73	+4% -2%	1,09	+4% -2%
Karakteristična prekidna sila (F _k)	kN	164	fr. 5% st. d. 55	232	fr. 5% st. d. 55
Karakteristična sila pri trajnoj deformaciji 0,2% (F _{0,2k})	kN	≥0,85 F _k		≥0,85 F _k	
Modul elastičnosti (E)	kN/mm ²	195	±10	195	±10
Relaksacija za norm. 1000 časova pri temperaturi od 20°C i početnoj sili 0,70 F _k niska	%	≤8		≤8	
	%	≤2,5		≤2,5	

1.3. Kotve i kablovi

Kotve su podeljene prema funkciji koju obavljaju na:

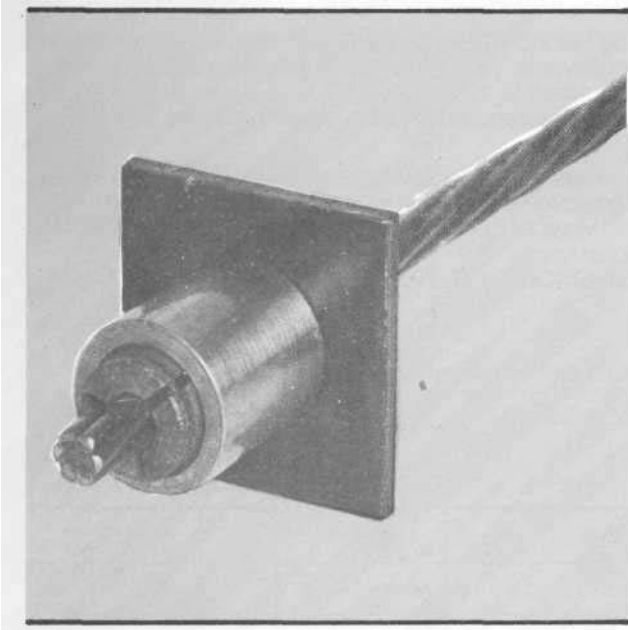
- normalne (aktivne i pasivne),
- fiksne i
- nastavne.

Normalna kotva je aktivna kada se preko nje vrši prednaprezanje kabla, a pasivna kada ima ulogu fiksne kotve. Može biti za jedno uže i tada se sastoji iz trodelnog klina, čaure i pločice. Skupne kotve imaju onoliko klinova koliko i užadi, ankeru ploču sa konusnim otvorima i podložnu ploču za prenošenje sile na beton ili konstrukciju. Preko normalne kotve obično se vrši i injektiranje kabla radi zaštite (Sl. 1. i 2.).

Fiksna kotva se koristi kada je moguće prednaprezanje sa jedne strane i kada za to postoje statičko-konstruk-

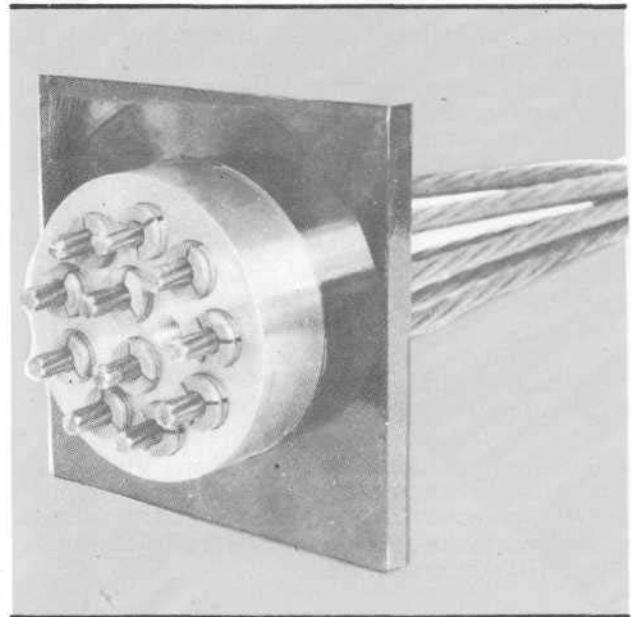
Kotva tipa S1/15

Slika 1.



Kotva tipa S11/15

Slika 2.



ktivni uslovi. Njena cena je znatno niža od cene normalne kotve.

Nastavna kotva služi za nastavljjanje već prednapre-
gnutog kabla ili za nastavljjanje kabla koji će tek da se
prednapreže. Obično se nastavljaju kablovi istog tipa ali je
takođe moguća i redukcija sa većeg na manji.

Kabl predstavlja skup užadi koji se nalaze u jednoj
cevi. Obično se broj užadi u kابلu poklapa sa brojem
užadi u kotvi. Međutim, radi povećanja kapaciteta kabla,
mogu se delovi kabla u ankernom bloku konstrukcije
podeliti na više kotvi. Istovremenim prednaprežanjem
kabla, sa više presa i zajedničkom pumpom, višestruko
se povećava sila u kابلu u odnosu na silu kotve.

1.4. Oprema

Oprema za prednaprežanje, prese i pumpe racionalno
je usaglašena sa tipovima kablova i zavisi od veličine sile
kabla, broja i prečnika užadi. Sinhronizovanim radom
prese i pumpe obavljaju se sve radne operacije: hvatanje,
istezanje, zaklinjavanje, vraćanje prese u početni položaj i
oslobađanje zahvata. Presa je konstruisana tako da prili-
kom zaklinjavanja deluje tokom prenošenja sile istom
potisnom silom posebno na svaki klin nezavisno od nje-
govog pomeranja što omogućava vrhunski kvalitet celo-
kupnog ukotvljavanja.

Merenje sile u kابلu vrši se očitavanjem pritiska na
manometru pumpe, a veza pritisak-sila data je dijagra-
mom baždarenja. U posebnim slučajevima može se sila

meriti u toku prednaprežanja ili trajno, kod slobodnih
(nevezanih) kablova, uobičajenom tehnikom zasnovanom
na promeni deformacija ili elektromagnetne indukcije.

Oprema za zaštitu kablova, kada se radi o cementnoj
smeši, sastoji se od mutilice u kojoj se priprema smeša
vode, cementa i aditiva i elektro pumpe koja pod pritis-
kom utiskuje smešu u cev kabla. Mutilica i pumpa su spo-
jene u jedinstven agregat koji radi sinhronizovano. Kod
malih kablova racionalno je korišćenje posebne mutilice i
male ručne pumpe.

1.5. Gubici sile prednaprežanja

Sila prednaprežanja nije konstantna duž kabla, zbog
trenja, a tokom vremena se i smanjuje usled relaksacije
čelika, skupljanja i tečenja betona. Prema tome, u jednom
preseku kabla imamo početnu silu u trenutku prednapre-
žanja, silu u nekom vremenu (t) i trajnu silu ($t \rightarrow \infty$). Kao
pojam postoji još i početna sila na presi, koja se razlikuje
od početne sile na kraju kabla, ispod aktivne kotve, za
gubitak koji nastaje usled uvlačenja klina prilikom zaklinj-
avanja.

Gubici početne sile koji se moraju uzeti u račun
nastaju usled:

- uvlačenja klina,
- elastičnog skraćanja,
- trenja kabla,
- relaksacije čelika i
- skupljanja i tečenja betona.

1.5.1. Uvlačenje klina

U toku prenošenja sile sa prese na kotvu prilikom zaklinjavanja dolazi do uvlačenja klina što smanjuje izduženje kabla, a time i početne sile na presi. Ovaj gubitak, ukoliko se ne eliminiše, može znatno da smanji sile kod kratkih kablova. Kako bi se to izbeglo može se izvršiti dotezanje kabla ili ubacivanje podmetača za kompezaciju izgubljenog izduženja ispod kotve.

U tablici 2 date su vrednosti uvlačenja klina u zavisnosti od prečnika užeta i načina zaklinjavanja.

Uvlačenje klina Tabl. 2

Prečnik užeta mm	Uvlačenje klina na mestu zaklinjavanja		
	presom mm	slobodno mm	pros. za pror. mm
12,5	5-7	3-6	7
15,2	6-9	3-8	

1.5.2. Elastično skraćenje

Ovaj gubitak se javlja samo ukoliko se uteže više kablova. Može da iznosi. 25-50% ukupnog elastičnog skraćanja konstrukcije, što zavisi od broja kablova.

1.5.3. Trenje

U toku prednaprezanja duž kabla javljaju se sile usled promene pravca kabla i njegovog lokalnog odstupanja („kolebanja“) od teorijskog pravca. Izračunava se na osnovu poznatog obrasca:

$$F_x = F_0 \cdot e^{-(\mu\alpha + kx)},$$

gde je:

- F_x - sila na mestu x od tačke prednaprezanja,
- F_0 - početna sila na presi,
- μ - koeficijent trenja kabla i okolnog materijala,
- k - koeficijent „kolebanja“,
- α - zbir uglova skretanja (horizontalnih i vertikalnih) od tačke prednaprezanja do tačke x , u radijanima.

Prosečne vrednosti koeficijenta μ i k date su u tablici 3. Ove vrednosti važe pod uslovom da ne postoji pojava korozije na čeliku za prednaprezanje i zaštitnim cevima, kao i da su radovi na postavljanju kablova korektno izvedeni, bez lokalnog odstupanja kabla („kolebanja“) po dužini. Ukoliko to nije slučaj ove vrednosti mogu da se višestruko povećaju.

Koeficijenti μ i α Tabl. 3

Koeficijent	uže/metal	uže/beton
μ	0,25	0,38
k	$1,5 \cdot 10^{-3}/m$	$2,3 \cdot 10^{-3}/m$

Trenje kabla u kotvi se kreće 1 -3% od sile u zavisnosti od broja užadi i u normalnim slučajevima se smatra uključenim u ukupno trenje kabla.

Trenje u presi iznosi 1 -2% od sile, međutim ono se uzima u obzir jer se dijagramom baždarenja daju stvarni odnosi sile i pritiska na manometru pumpe.

1.5.4. Relaksacija čelika

Relaksacija je stalni proces koji se odigrava kod čelika pod naponom i zavisi od vrste čelika, početnog napona i temperature. Porizvođači daju vrednosti relaksacije dobijene u laboratorijskim uslovima za 1000 časova i to je takozvana „mera relaksacije“.

Ukupna relaksacija, značajna za proračun trajne sile prednaprezanja, veća je 2-4 puta pa je uobičajeno da se u proračun uzima trostruka vrednost „mere relaksacije“.

Da bi se kao nepoželjan uticaj relaksacija smanjila, proizvođači čelika su uspeali da proizvedu i užad sa „niskom relaksacijom“.

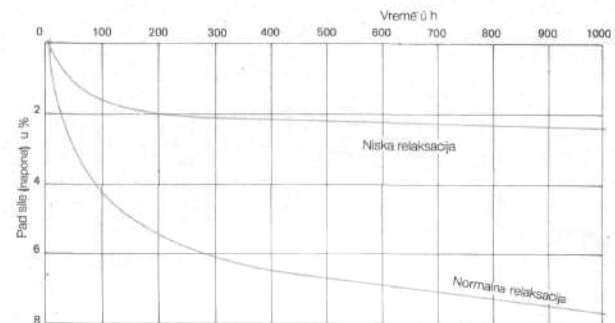
Na sl. 3 i 4. prikazane su prosečne vrednosti „mere relaksacije“. One se mogu koristiti u slučaju kada nedostaju određeni podaci.

1.5.5. Skupljanje i tečenje betona

Proračun ovih gubitaka je složeniji i treba ih računati koristeći podatke iz stručne literature kao i važeće standarde iz ove oblasti.

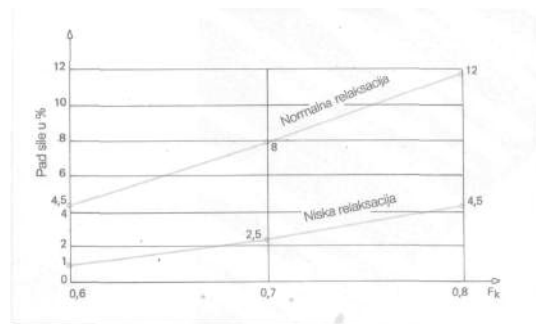
Dijagram relaksacije užeta za 1000h i 0,7 F_k

Slika 3.



Mera relaksacije u funkciji početnog napona

Slika 4.



2. TEHNIČKI PODACI I DETALJI

2.1. Osnovni podaci o kablovima

U tablici 4 dati su podaci pomoću kojih se određuje tip kabla, početna sila, prečnik zaštitne cevi, tip kotve i odgovarajuća presa.

gubitaka definisanih u poglavlju 1.5. Ukupni gubici početne sile obično iznose 10-25% ali mogu biti i veći ako su veliki relaksacija i trenje.

Osnovni podaci za SPB kablove

Tabl. 4

Tip kotve	Broj i prečnik užadi mm	Površina preseka mm ²	Maša kabla kg/m	Sila u kablju kN			Unutrašnji Ø zaštitne cevi mm		Način prednaprezanja i tip prese	
				0,70 F _k	0,75 F _k	F _k	g'	g''		
S1/13	1 Ø12,5	93	0,73	115	123	164	19	26	pojedinačno	S-12
S2/13	2 Ø12,5	186	1,46	230	246	328	28	36		
S3/13	3 Ø12,5	279	2,19	344	369	492	30	38		
S4/13	4 Ø12,5	372	2,92	459	492	656	38	46		
S6/13	6 Ø12,5	558	4,38	689	738	984	46	55		
S11/13	7 Ø12,5	651	5,11	804	861	1148	46	55		
	8 Ø12,5	744	5,84	918	984	1312	50	60		
	9 Ø12,5	837	6,57	1033	1107	1476	55	65		
	10 Ø12,5	930	7,30	1148	1230	1640	55	65		
	11 Ø12,5	1023	8,03	1263	1353	1804	60	70		
S1/15	1 Ø15,2	139	1,09	162	174	232	19	26	pojedinačno	S-17
S2/15	2 Ø15,2	278	2,18	325	348	464	34	42		
S3/15	3 Ø15,2	417	3,27	487	522	696	40	48		
S4/15	4 Ø15,2	556	4,36	650	696	928	42	50		
S6/15	6 Ø15,2	834	6,54	974	1044	1392	50	60		
S11/15	7 Ø15,2	973	7,63	1137	1218	1624	55	65		
	8 Ø15,2	1112	8,72	1299	1392	1856	60	70		
	9 Ø15,2	1251	9,81	1462	1566	2088	65	75		
	10 Ø15,2	1390	10,90	1624	1740	2320	70	80		
	11 Ø15,2	1529	11,99	1786	1914	2552	70	80		
S19/15	13 Ø15,2	1807	14,17	2111	2262	3016	75	85	skupno	S-310
	15 Ø15,2	2085	16,35	2436	2610	3480	80	90		
	17 Ø15,2	2363	18,53	2761	2958	3944	85	95		
S37/15	19 Ø15,2	2641	20,71	3086	3309	4408	90	100	skupno	S-600
	25 Ø15,2	3475	27,25	4060	4350	5800	100	115		
	31 Ø15,2	4309	33,79	5034	5394	7192	120	135		
	37 Ø15,2	5143	40,33	6009	6438	8584	130	145		

* Unutrašnji prečnik zaštitne cevi kada se kabl postavlja pre betoniranja.

** Unutrašnji prečnik zaštitne cevi kada se kabl uvlači posle betoniranja.

Početna sila u kablju obično se kreće između 60 i 70 procenata karakteristične čvrstoće (F_k) užeta, što je određeno propisima. Maksimalna početna sila kabla je istovremeno i maksimalna dozvoljena sila kotve i odgovara sili od 0,75 F_k. Početna sila kabla može biti manja od maksimalne sile kotve, bilo što se računa sa nižom početnom silom od 0,75 F_k ili što se koristi manji broj užadi od najviše predviđenog.

Račvanje kabla u ankerom bloku koristi se kada je primenjen vrlo veliki kabl ili iz drugih konstruktivnih razloga. Uobičajeno je račvanje na dva ili tri kraka. Prednaprezanje se u ovom slučaju vrši istovremeno sa onoliko presa koliko ima aktivnih kotvi.

Trajna sila u kablovima i kotvama zavisi od veličine

Minimalni unutrašnji prečnik zaštitne cevi ili kanala dat je u tablici 4 za kablove koji se postavljaju pre betoniranja. Veći prečnik zaštitne cevi predviđen je za kablove koji se uvlače posle očvršćavanja betona.

Pošto kabl, kotva i presa predstavljaju jedan sistem, u tablici 4 dati su i tipovi presa koji odgovaraju pojedinim kotvama.

Definisanje ovih elemenata u projektu je, naprimer:

- početna sila kabla: 1300 kN,
- tip kabla: 8Ø15,2 mm,
- tip kotve: S11/15, aktivna-pasivna,
- tip prese: S-180 i
- unutrašnji Ø zaštitne cevi: 60 mm.

2.2. Mere i detalji kotvi

2.2.1. Normalna kotva

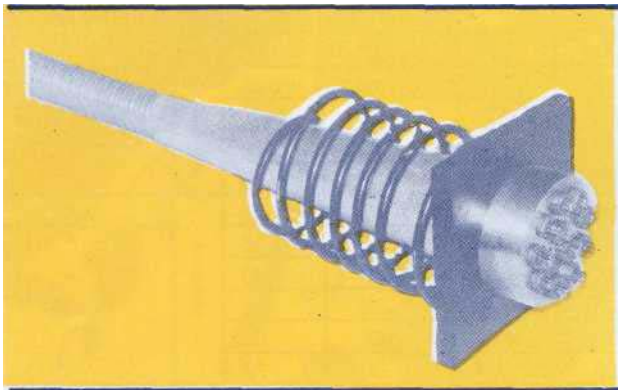
Aktivna normalna kotva je prikazana na sl. 5 i 6, a odgovarajuće mere date su u tablici 5.

Pasivna normalna kotva ima iste mere, a razlikuje se samo u tome što u toku montaže i prednapreznja privremeno poseduje potisnu ploču za klinove.

Za kotve tipa S1/13 i S1/15 konusni spoj ne postoji, a kod kotvi S2/13 i S2/15 spoj je pravougaonog poprečnog preseka.

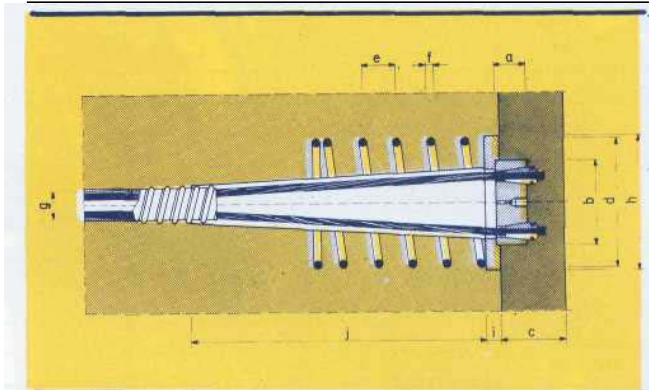
Normalna kotva

Slika 5.



Skica normalne kotve

Slika 6.



Osnovni podaci za SPB normalne kotve

Tabl. 5

Tip kotve	Broj i prečnik užadi mm	a	b	c _{min.}	d	n x e	f	g'	g''	h	i	j
	1 Ø12,5	45	40	90	90	5x40	6	19	26	70	7	-
S2/13	2 Ø12,5	45	40	90	100	5x40	6	28	36	70/120	7	400
S3/13	3 Ø12,5	45	100	100	150	5x40	8	30	38	140	10	500
S4/13	4 Ø12,5	45	100	100	150	5x40	8	38	46	140	12	500
S6/13	6 Ø12,5	45	130	110	180	5x50	10	46	55	180	15	600
	7 Ø12,5	50	155	110	230	5x60	14	46	55	230	20	600
S11/13	8 Ø12,5	50	155	110	230	5x60	14	50	60	230	20	600
	9 Ø12,5	50	155	110	230	5x60	14	55	65	230	20	600
	10 Ø12,5	50	155	110	230	5x60	14	55	65	230	20	600
	11 Ø12,5	50	155	110	230	5x60	14	60	70	230	20	600
S1/15	1 Ø15,2	50	45	100	100	4x40	6	19	26	80	8	-
S2/15	2 Ø15,2	50	45	100	110	5x40	8	34	42	80/140	8	400
S3/15	3 Ø15,2	50	100	110	170	5x50	10	40	48	160	15	500
S4/15	4 Ø15,2	50	100	110	170	5x50	10	42	50	160	15	500
S6/15	6 Ø15,2	50	130	110	200	5x50	12	50	60	200	18	600
S11/15	7 Ø15,2	60	175	120	270	5x70	16	55	65	280	30	600
	8 Ø15,2	60	175	120*	270	5x70	16	60	70	280	30	600
	9 Ø15,2	60	175	120	270	5x70	16	65	75	280	30	600
	10 Ø15,2	60	175	120	270	5x70	16	70	80	280	30	600
	11 Ø15,2	60	175	120	270	5x70	16	70	80	280	30	600
S19/15	13 Ø15,2	65	235	130	380	5x80	18	75	85	380	40	800
	15 Ø15,2	65	235	130	380	5x80	18	80	90	380	40	800
	17 Ø15,2	65	235	130	380	5x80	18	85	95	380	40	800
	19 Ø15,2	65	235	130	380	5x80	18	90	100	380	40	800
S37/15	25 Ø15,2	110	320	170	480	5x100	20	100	115	480	60	1000
	31 Ø15,2	110	320	170	480	5x100	20	130	145	480	60	1000
	37 Ø15,2	110	320	170	480	5x100	20	130	145	480	60	1000

* Unutrašnji prečnik zaštitne cevi kada se kabl postavlja pre betoniranja.

** Unutrašnji prečnik zaštitne cevi kada se kabl uvlači posle betoniranja.

2.2.2. Fiksna kotva

Kao standardni oblik fiksna kotva prikazana je na sl. 7 i 8, a odgovarajuće geometrijske mere date su u tablici 6.

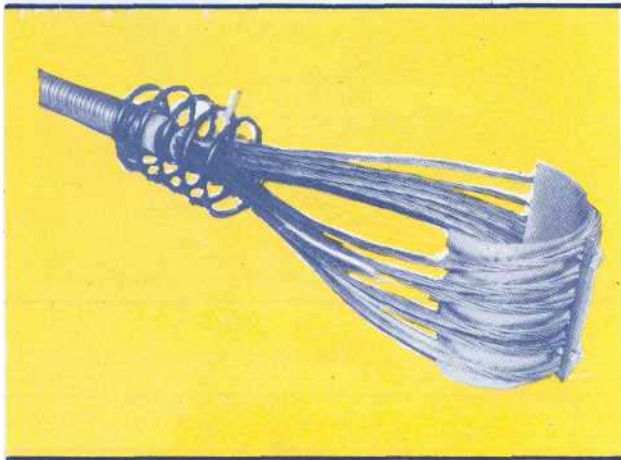
Prenošenje sile kabla na beton vrši se jednim delom putem prijanjanja slobodnih užadi, a drugim delom preko polukružne čelične ploče.

Na kraju zaštitne cevi postavlja se čevčica za ozrači-
vanje. Ovaj kraj mora biti plastičnom trakom i kitom dobro
zaštićen da betonski malter ne bi prodro unutar cevi.

Kotva može da bude postavljena horizontalno ili verti-
kalno u zavisnosti od raspoloživog prostora.

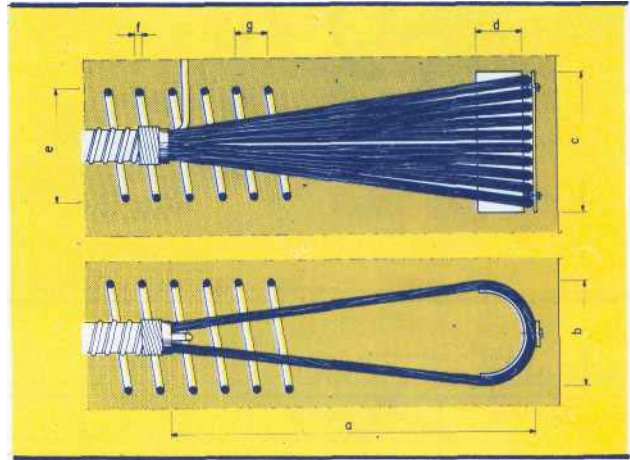
Fiksna kotva

Slika 7.



Skica fiksne kotve

Slika 8.



Osnovni podaci za SPB fiksne kotve

Tabl. 6

Tip kotve	Broj i prečnik užadi mm	a	b	c	d	e	f	nxg
		mm						
SF2/13	2 Ø12,5	600	220	45	110	110	6	5x40
SF4/13	4 Ø12,5	600	220	85	110	150	8	5x40
SF6/13	6 Ø12,5	600	220	130	110	170	10	5x50
SF11/13	8 Ø12,5	700	220	180	110	220	14	5x60
	10 Ø12,5	700	220	220	110	220	14	5x60
	11 Ø12,5	700	220	240	110	220	14	5x60
SF2/15	2 Ø15,2	600	220	60	110	130	8	5x40
SF4/15	4 Ø15,2	600	220	120	110	170	10	5x50
SF6/15	6 Ø15,2	600	220	180	110	190	12	5x50
SF11/15	8 Ø15,2	800	220	240	110	250	16	5x70
	10 Ø15,2	800	220	300	110	250	16	5x70
	11 Ø15,2	800	220	330	110	250	16	5x70
SF19/15	13 Ø15,2	1350	240	390	120	250	18	5x80
	15 Ø15,2	1350	240	450	120	250	18	5x80
	17 Ø15,2	1350	240	510	120	250	18	5x80
	19 Ø15,2	1350	240	570	120	250	18	5x80
SF37/15	25 Ø15,2	1900	240	750	120	250	20	5x100
	31 Ø15,2	1900	240	930	120	250	20	5x100
	37 Ø15,2	1900	240	1100	120	250	20	5x100

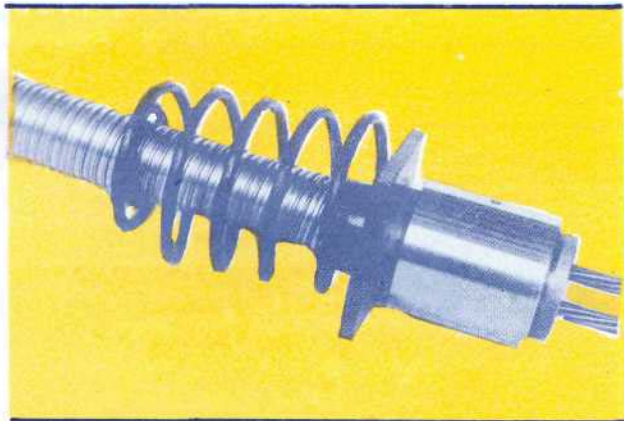
2.2.3. Nastavna kotva

Nastavna kotva za produžavanje kabela kod koga je već izvršeno prednaprezanje prikazana je na sl. 9 i 10, a geometrijski podaci dati su u tablici 7. Pri nastavljanju slobodnog kabela na postojeći konusno-cilindrični deo

dodaje se odgovarajući konusni deo, a otpadaju podložna ploča i spirala. Pri redukciji kabela sa većeg na tanji date mere ostaju iste.

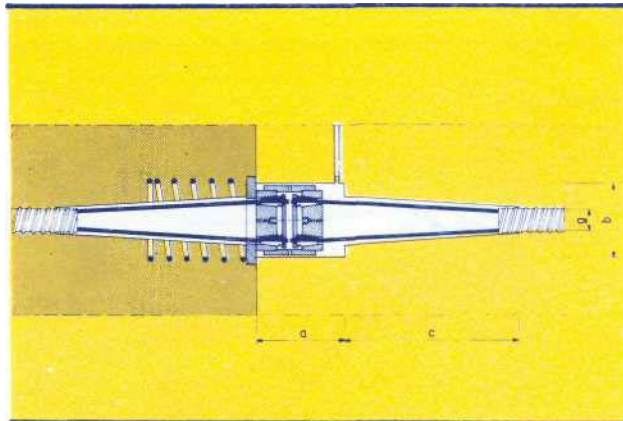
Nastavna kotva

Slika 9.



Skica nastavne kotve

Slika 10.



Osnovni podaci za SPB nastavne kotve

Tabl. 7

Tip kotve	Broj i prečnik užadi mm	a+	b	c	g*	g**
		mm				
SN1/13	1 Ø12,5	225	55	60	19	26
SN2/13	2 Ø12,5	225	55/120	340	28	36
SN3/13	3 Ø12,5	220	135	440	30	38
SN4/13	4 Ø12,5	220	135	440	38	46
SN6/13	6 Ø12,5	230	170	540	46	55
SN11/13	7 Ø12,5	230	195	540	46	55
	8 Ø12,5	230	195	540	50	60
	9 Ø12,5	230	195	540	55	65
	10 Ø12,5	230	195	540	55	60
	11 Ø12,5	230	195	540	60	70
SN1/15	1 Ø15,2	240	55	60	19	26
SN2/15	2 Ø15,2	240	55/140	340	34	42
SN3/15	3 Ø15,2	220	135	440	40	48
SN4/15	4 Ø15,2	220	135	440	42	50
SN6/15	6 Ø15,2	230	170	540	50	60
SN11/15	7 Ø15,2	260	220	540	55	65
	8 Ø15,2	260	220	540	60	70
	9 Ø15,2	260	220	540	65	75
	10 Ø15,2	260	220	540	70	80
	11 Ø15,2	260	220	540	70	80
SN19/15	13 Ø15,2	260	290	740	75	85
	15 Ø15,2	260	290	740	80	90
	17 Ø15,2	260	290	740	85	95
	19 Ø15,2	280	290	740	90	100
SN37/15	25 Ø15,2	360	390	940	100	115
	31 Ø15,2	360	390	940	130	145
	37 Ø15,2	360	390	940	130	145

* Unutrašnji prečnik zaštitne cevi kada se kabl postavlja pre betoniranja.

** Unutrašnji prečnik zaštitne cevi kada se kabl uvlači posle betoniranja.

+ Na vrednost „a“ dodati izduženje prethodno zategnutog kabela ukoliko postoji.

2.3. Detalji za projektovanje i izvođenje radova

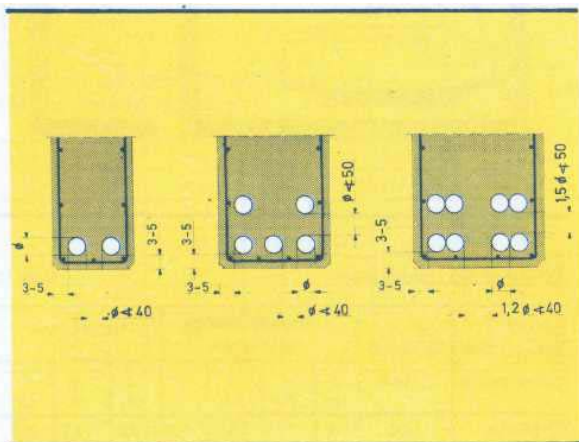
2.3.1. Raspored kablova i kotvi

Raspored kablova u poprečnom preseku nosača treba da bude takav da omogući dobro ugrađivanje betona. To znači da razmak između zaštitnih cevi kablova mora biti veći od najkrupnijih zrna agregata, a istovremeno veći od prečnika pervibratora ukoliko se ugrađivanje vrši pervibriranjem.

Uobičajeni razmaci zaštitnih cevi dati na sl. 11 su u zavisnosti od njihovog prečnika odnosno u mm.

Raspored kablova u preseku

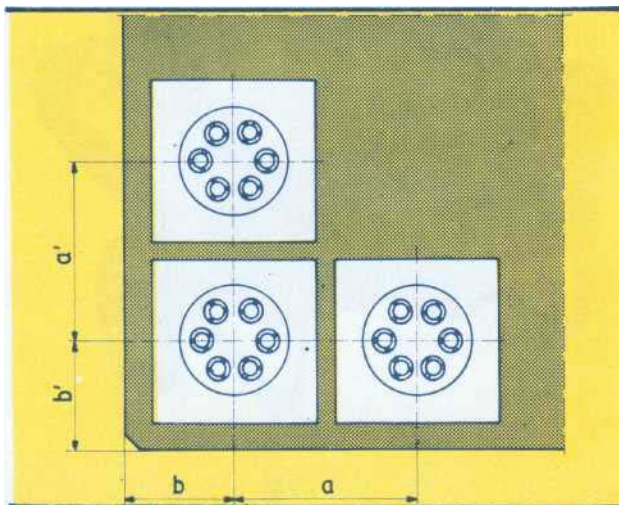
Slika 11.,



Raspored normalnih kotvi u ankerskom bloku prikazan je na sl. 12, a njihov minimalni međusobni razmak dat je u tablici 8. Ovakav raspored, uz pravilan proračun i armiranje ankersnog bloka, treba da osigura bezbedno prenošenje sile iz kablova na beton i nesmetano obavljanje prednaprezanja.

Raspored kotvi na čelu nosača

Slika 12.



Tabl. 8

Tip kotve	Broj i prečnik užadi mm	a	b	a'	b'
		mm			
S1/13	1 Ø12,5	90	50	90	50
S2/13	2 Ø12,5	90	50	140	180
S3/13	3 Ø12,5	160	90	160	90
S4/13	4 Ø12,5	160	90	160	90
S6/13	6 Ø12,5	200	110	200	110
S11/13	11 Ø12,5	250	160	250	160
S1/15	1 Ø15,2	100	60	100	60
S2/15	2 Ø15,2	100	60	160	90
S3/15	3 Ø15,2	180	100	180	100
S4/15	4 Ø15,2	180	100	180	100
S6/15	6 Ø15,2	220	130	220	130
S11/15	11 Ø15,2	300	190	300	190
S19/15	19 Ø15,2	400	250	400	250
S37/15	37 Ø15,2	520	320	520	320

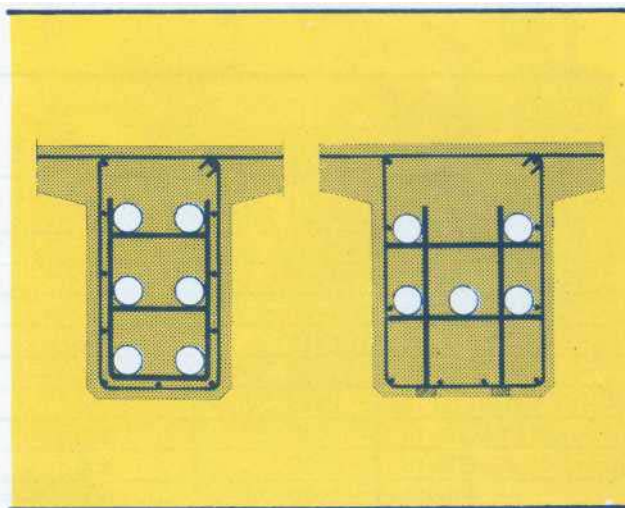
2.3.2. Oslanjanje i fiksiranje kablova

Vrlo je značajno da kablovi budu postavljeni tačno u projektom predviđeni položaj i da što manje odstupaju od idealne linije. Radi toga je potrebno da su zaštitne cevi kablova položene na nepomične oslonce koji će i za vreme ugrađivanja betona zadržati nepromenjen položaj. Podupirači (držači) zaštitnih cevi kablova obično se postavljaju na rastojanju od 1 do 2 m, a na mestima savijanja i češće. Cevi treba da su čvrsto vezane za svoje držače. Dva primera postavljanja držača kablova prikazani su na sl. 13.

Podložne ploče kotvi moraju biti postavljene upravno na osu kablova i čvrsto zavrtnjima fiksirane za oplatu da im se položaj u toku betoniranja ne bi poremetio.

Oslanjanje kablova u preseku

Slika 13.



2.3.3. Linija kabla

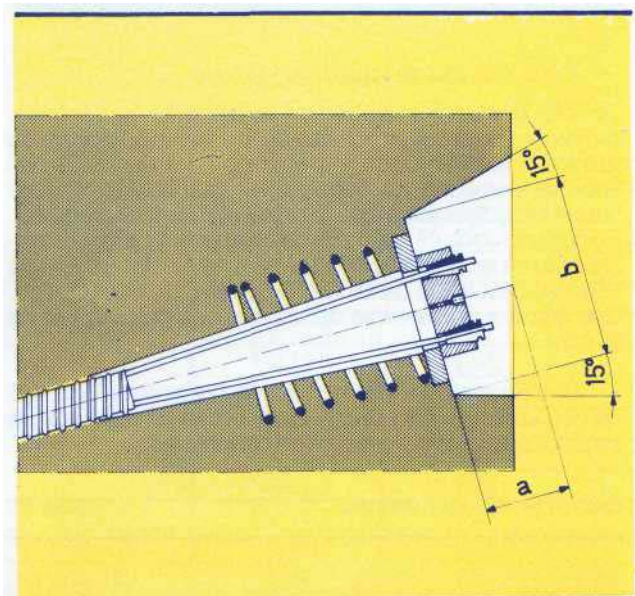
Elastičnost kablova i zaštitnih cevi omogućava njihovo postavljanje po krivim, obično paraboličnim linijama. Treba izbjegavati nagle promene pravca kabla zbog povećanja trenja i mogućnosti da cev na tim mestima bude oštećena. Radijus krivine može se kretati od 3 do 6 m u zavisnosti od veličine sile u kablju (od 1015,2 do 37015,2). Kabl kod ulaska u kotvu mora biti pravolinijski na dužini od 0,4 do 1,4m, takođe u zavisnosti od veličine sile u kablju.

2.3.4. Postavljanje kotve

Kotve se uobičajeno postavljaju na spoljnu površinu preseka prema sl. 6. Radi lakše zaštite od korozije i iz drugih konstruktivnih razloga, često se kotve postavljaju upuštene u betonski presek. Na sl. 14 i u tablici 9 dati su oblik i potrebne mere za ovaj slučaj.

Skica kotve unutar preseka

Slika 14.



Tabl.9

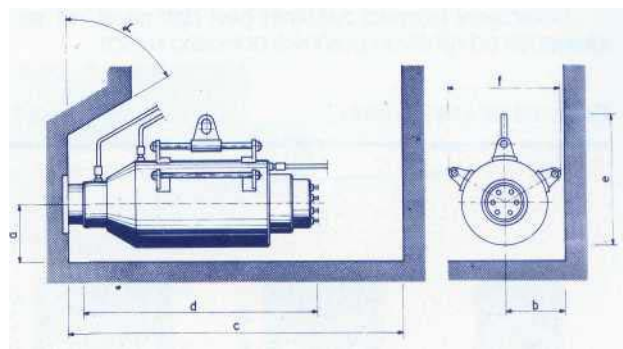
Tip kotve	a	b
	mm	
S1/13,S1/15	100	120
S2/13,S2/15	100	160
S3/13,S3/15	110	180
S4/13,S4/15	110	180
S6/13,S6/15	110	250
S11/13,S11/15	120	350
S19/15	130	500
S37/15	170	600

2.3.5. Prostor za postavljanje i rad prese

U toku izrade projekta prednapregnute konstrukcije mora se predvideti potreban slobodan prostor za postavljanje prese kao i za njen nesmetan rad u procesu zatezanja kablova. Na sl. 15 i tablici 10 prikazani su gabariti presa i neophodno potreban prostor za rad prese.

Skica postavljanja prese

Slika15..



Slobodan prostor i gabarit prese

Tabl. 10

Tip prese i način prednaprezanja	Maksimalni pritisak	Slobodan prostor za rad prese				Gabarit prese			
		a cm	b cm	c cm	α °	d cm	e cm	f cm	
pojed.	S-12	295	8	11	120	75	76	17,6	10,6
	S-17	418	8	11	120	75	76	17,6	10,6
skupno	S-70	283	16	20	154	65	77	47	33
	S-100	364	16	20	154	65	77	47	33
	S-130	386	19	23	150	55	75	54	40
	S-180	398	22	26	156	45	78	54	42
	S-310	455	28	35	170	30	72	60	45
S-600	455	37	45	200	60	80	80	64	

2.4. Oprema

2.4.1. Prese

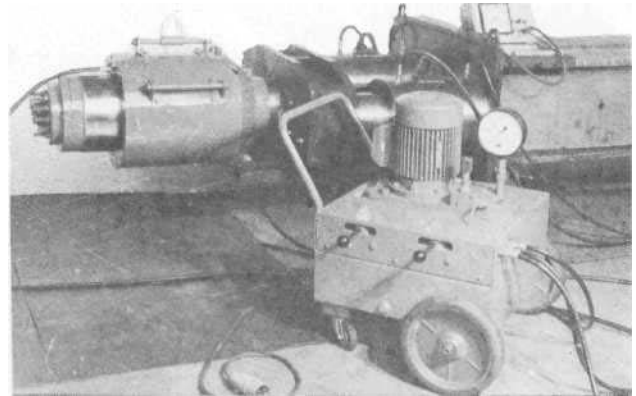
Postoje dva tipa presa: za pojedinačno i skupno prednaprezanje užadi (sl 16, 17 i 18). U zavisnosti od broja i prečnika užadi, prese su racionalno konstruisane tako da pokrivaju sile od 120 do 6400 kN. Njihove osnovne karakteristike, značajne za projektovanje i izvođenje radova, date su u tablici 11.

Tehnički podaci presa

Tabl. 11

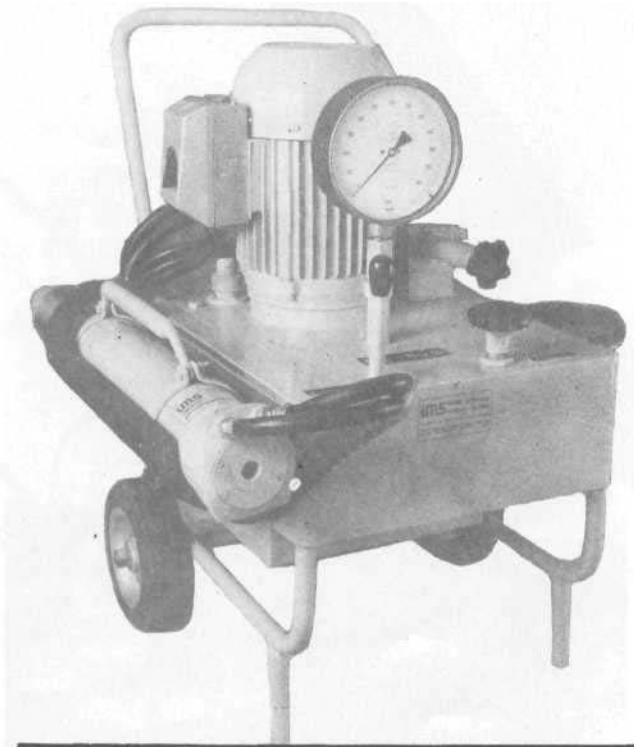
Tip prese i način prednaprezanja		Maksimalni pritisak bar	Čist hod mm	Masa u radu kg	Služi za kabl	
					broj i prečnik užadi	tip kotve
pojednin.	S -12	295	200	30	1-4 Ø12,5	S1/13
	S -17	418	200	30	1-4 Ø15,2	S1/15
skupno	S -70	283	240	90	6 Ø12,5	S6/13
	S -100	364	240	90	6 Ø15,2	S6/15
	S -130	386	240	180	7-11 Ø12,5	S11/13
	S -180	398	240	250	7-11 Ø15,2	S11/15
	S -310	455	240	390	13-19Ø 15,2	S19/15
	S -600	455	240	800	25-37Ø15,2	S37/15

Presa S-310 sa pumpom PE-300S u toku baždarenja Slika 17.



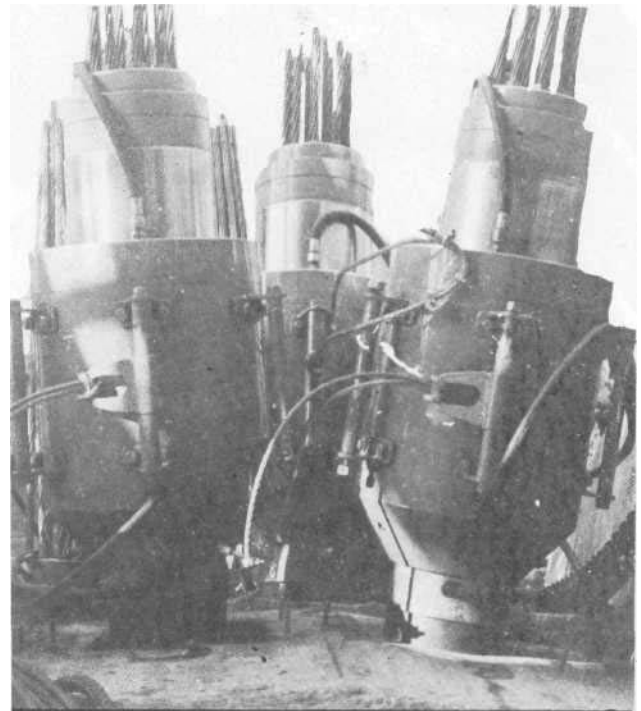
Presa S-17 sa pumpom PE-17

Slika 16.



Prese S-180 u toku prednaprezanja

Slika 18.



2.4.2. Pumpe

Osnovne karakteristike pumpi koje opslužuju prese date su u tablici 12. Pumpe PE-5 i PE-7 služe uglavnom za rad na stazama i one imaju elektro komande. Ostale pumpe sa ručnim komandama predviđene su za rad na gradilištu (sl.19).

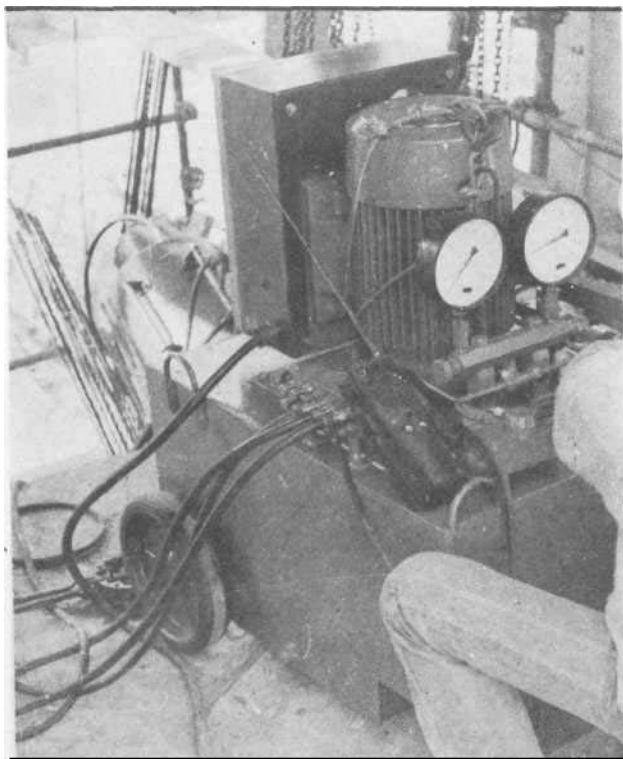
Tehnički podaci pumpi

Tabl. 12

Tip pumpe	Pogon električni kW	Max. trajni pritisak bar	Kapaci- tet l/min	Korisna zaprem. rezerv- oara l	Masa u radu kg	Spoljne mere	Služi za
PE-12	3	300	3,0	50	220	55x66x80	S-12
PE-17	3	450	3,0	50	220	55x66x80	S-17
PE-80S	2	450	3,0	7	75	55x66x80	S-12 S-17
PE-180S	3	450	3,0	16	100	67x63x81	S-130 S-180
PE-300S	10	450	9,5	50	190	90x80x80	S-300 S-600

Prednaprezanje u toku izvođenja

Slika 19.



2.4.3. Oprema za zaštitu kablova

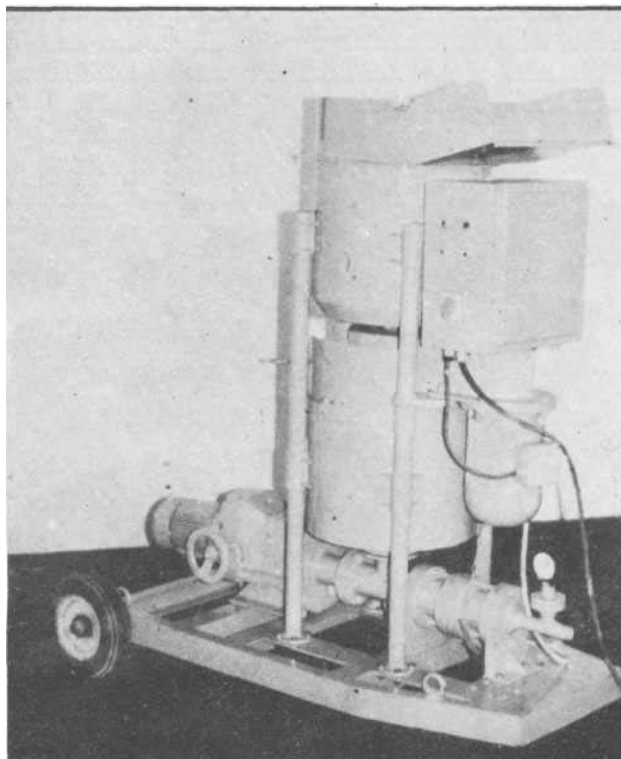
Kod malih kablova može se vrlo racionalno primeniti manja mutilica i ručna pumpa. Za veće kablove koristi se mutilica spojena sa elektropumpom (sl. 20). Tehnički podaci za mutilice i pumpe prikazani su u tablici 13.

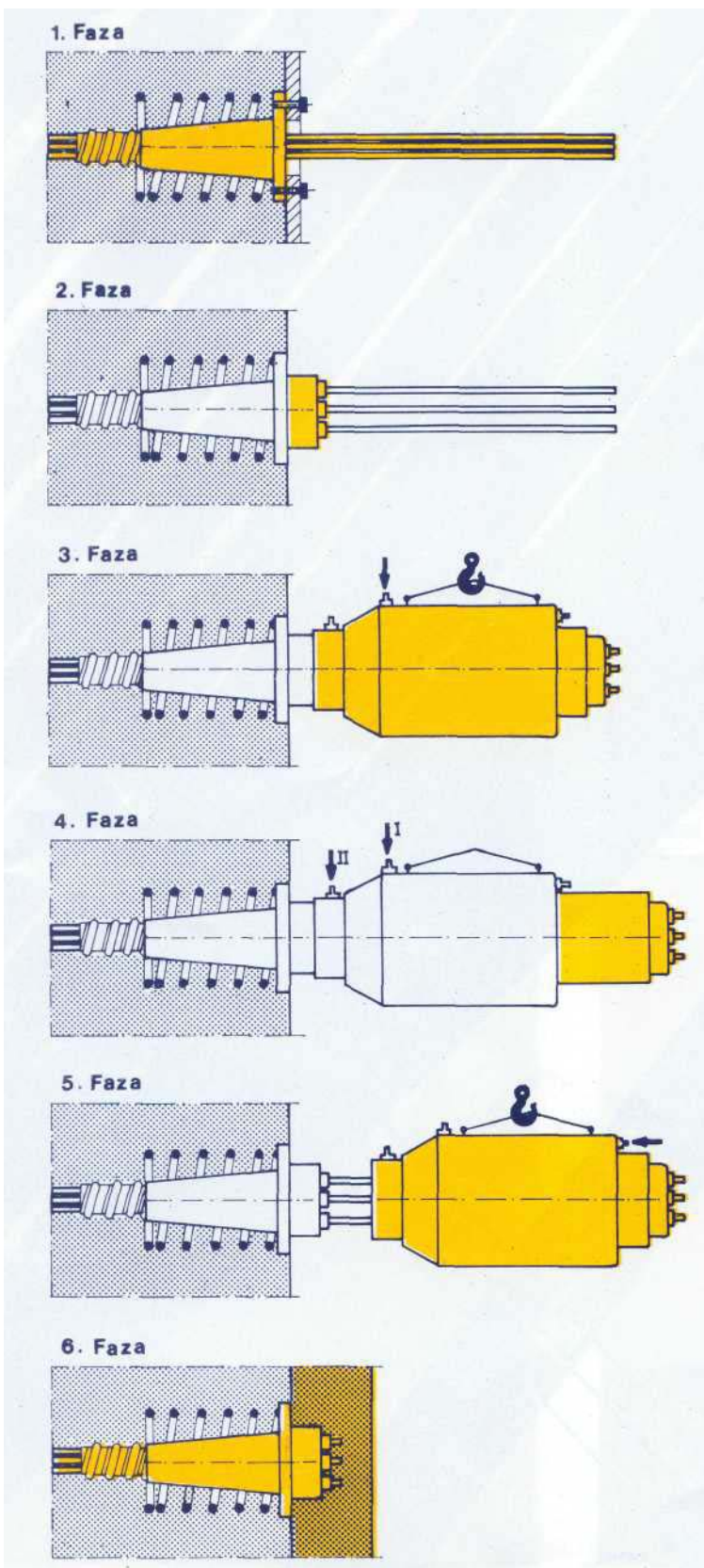
Tabl. 13

	Jed. mere	Mutilica M-12	Pumpa PU-12	Mutilica sa pumpom PU-50
Zapremina	l	20	20	75
Teoretski kapacitet	l/h	150	600	500
Stvarni kapacitet	l/h	100	500	400
Maksimalni pritisak	bar	-	10	15
Dimenzije	cm	120/32/81	46/32/5	100/80/170
Težina	kg	82	23	180

Mutilica sa pumpom

Slika 20.





- postavljanje podložne ploče sa konusom cevi i povezivanje sa oplatom
- montaža fleksibilne cevi
- postavljanje kabla (istovremeno sa fleksibilnom cevi ili posle betoniranja)

- skidanje oplata posle betoniranja
- otsecanje kraja kabla na tačnu dužinu
- postavljanje ankerne ploče sa klinovima

- uvlačenje užadi u odgovarajuće kanale prese
- oslanjanje prese na ankeru ploču
- aktiviranje prese putem odgovarajuće pumpe

- istovremeno zahvatanje svih užadi unutrašnjim klinovima prese
- istežanje kabla prema predviđenoj sili i izduženju (I)
- čitanje pritiska na manometru pumpe i merenju izduženja
- zaklinjavanje užadi (II)

- vraćanje klipa prese u početni položaj
- oslobađanje užadi iz zahvata prese
- skidanje prese

- skraćivanje kraja kabla prema projektu
- injektiranje (zaštita) kabla
- betoniranje zaštitnog sloja za kotvu i kraj kabla

3. IZVOĐENJE RADOVA

3.1. Izrada kablova

Izrada kablova u sistemu SPB vrši se najčešće na samom gradilištu ili čak na samoj konstrukciji, što predstavlja još jednu od prednosti sistema. Posao počinje odsecanjem užadi na približno tačnu dužinu i formiranjem kablova. Sva užad u kابلu treba da zadrže međusobnu paralelnost i zbog toga se mestimično povezuju. Tako formiran kabl najčešće se odmah uvlači u zaštitnu cev i označava. Može ostati prav ili savijen u pogodan elipsast ili kružni oblik što zavisi od načina transporta do mesta ugrađivanja.

Zaštitne cevi su standardne metalne fleksibilne ili polietilenske plastične cevi. Mogu se upotrebiti i druge uz uslov da ne izazivaju koroziju čelika za prednaprezanje. PVC cevi nisu dozvoljene za upotrebu. Za cevi je još bitno da su vodonepropustive i da su dovoljno elastične da mogu da prate liniju kablova.

Cevi se mogu postaviti u konstrukciju i bez kablova ako se ovi uvlače nakon očvršćavanja betona. U ovom slučaju minimalni unutrašnji prečnik cevi je veći, kao što je prikazano u tablici 4,5 i 7. Kablovi se uvlače povlačenjem pomoću prethodno uvučenog užeta u cev ili se potiskuju specijalnom mašinom. U oba slučaja početak kablova mora biti prilagođen načinu uvlačenja.

Dužina kablova mora biti veća od teorijske za dužinu zahvata. Ukoliko se predviđa zatezanje sa obe strane treba dodati dvostruku dužinu zahvata. Dužina zahvata u zavisnosti od tipa prese data je u tablici 14. Data veličina zahvata predstavlja dužinu od površine kotve do kraja kablova.

Dužina zahvata Tabl. 14

	Tip prese i način prednaprezanja	Tipodgovarajuće kotve	Dužina zahvata cm
pojed.	S-12	S1/13 - S4/13	40
	S-17	S1/15 - S4/15	
pno	S-70	S6/13	76
	S-100	S6/15	
	S-130	S11/13	77
	S-180	S11/15	78
	S-310	S19/15	86
	S-600	S37/15	105

3.2. Postavljanje kablova

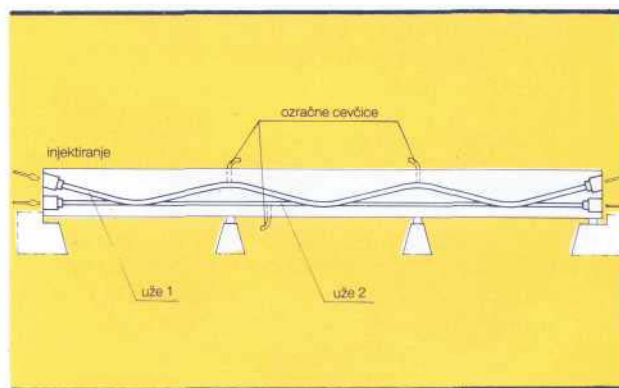
Prilikom postavljanja kablova treba dosledno ostvariti projektovani položaj kako rezultante tako i pojedinačnih kablova. Dozvoljeno odstupanje rezultante kablova u odnosu na projektovani položaj može iznositi najviše 2% od visine preseka, a odstupanje pojedinačnih kablova najviše -2cm. Kod kablova koji se nalaze u zaštitnim cevima prednje tolerancije se odnose na položaj zaštitnih cevi.

Posebnu pažnju treba posvetiti međusobnom povezivanju delova zaštitnih cevi kao i vezi cevi sa podložnom pločom. Sve ove veze treba da, pored održanja svog položaja u toku ugrađivanja betona, obezbede i vodonepropustljivost što se najčešće postiže obavijanjem cevi iopljivom plastičnom trakom. U zavisnosti od dužine i oblika kablova takođe treba postaviti i izvesti broj plastičnih cevčica za ozračivanje kao i spojnice za injektiranje (Sl. 21.).

Primer postavljanja cevčice za ozračivanje

Slika 21.

Zaptivenost zaštitnih cevi i pravilan geometrijski položaj kablova moraju se održati u toku ugrađivanja betona koje je obično praćeno snažnim vibriranjem. Ukoliko se to ne postigne dolazi do pojava koje se kasnije ne



mogu efikasno otkloniti: promene linije kablova, promene položaja kotvi, blokiranje kablova usled prodora cementnog mleka u cev i dr.

3.3. Prednaprezanje

U slučaju prednaprezanja betona, zatezanje kablova može da počne tek kada je beton postigao potrebnu minimalnu čvrstoću. Kada se prednaprezanje vrši pri starosti betona manjoj od 28 dana, čvrstoća betona se mora ustanoviti kontrolnim uzorcima negovanim pod istim uslovima kao i beton konstrukcije. Projektom mora biti određena čvrstoća betona, redosled zatezanja i veličina sile u pojedinim fazama prednaprezanja.

Priprema kablova za zatezanje započinje proveravanjem pokretljivosti kablova ukoliko se ne radi o kablovima sa fiksnom kotvom. Nakon toga se vrši skraćivanje užadi na minimalnu dužinu potrebnu za zahvat. Ovo skraćivanje kod kablova 19Ø15,2 i 37Ø15,2 se vrši stepenasto, (duža srednja i kraća spoljna užad) radi lakšeg montiranja kotve i prese. Posle skraćivanja užadi postavlja se kotva sa klinovima, namešta presa i započinje zatezanje kablova sa obe strane istovremeno (ili samo sa jedne strane ukoliko je tako projektom predviđeno). Cela ova procedura prikazana je šematski i tekstualno na str. 12.

Veličina sile u kablju određuje se pomoću manometra pumpe. Merenje izduženja kablja i upoređenje sa ostvarenom silom služi za ocenu da li su gubici usled trenja dobro proračunati. Ukoliko ima značajnih razlika proračun sila se mora proveriti. U posebnim slučajevima sila se može meriti i u kritičnim presecima duž kablja pomoću posebnih uređaja koji se unapred postavljaju.

Zatezanje kablja se može vršiti u neograničenom broju faza i nije vremenski limitirano. Otpuštanje sile već zategnutih kablja takođe je moguće primenom specijalne kotve ili posebnog uređaja na presi. Ukoliko je neophodna, ova operacija mora biti unapred planirana radi obezbeđenja prethodnih neophodnih uslova. Postoji i mogućnost otpuštanja sile celog ankernog bloka putem dodatnih presa, ukoliko je pojedinačno otpuštanje manje racionalno ili prouzrokuje posebne teškoće.

Osim prednaprezanja betona, zatezanjem kablja mogu da se apliciraju sile pri geotehničkim i hidrotehničkim radovima, fundiranju i dr. Ova tehnika kod stenskih ankera se takođe uspešno primenjuje.

Kablovi se primenjuju i za prednaprezanje čeličnih konstrukcija, u montaži konstrukcija (Sl.22.) i kod podizanja teških tereta radi montaže ili u druge svrhe (Sl.23 i 24).

3.4. Zaštita kablja i kotvi

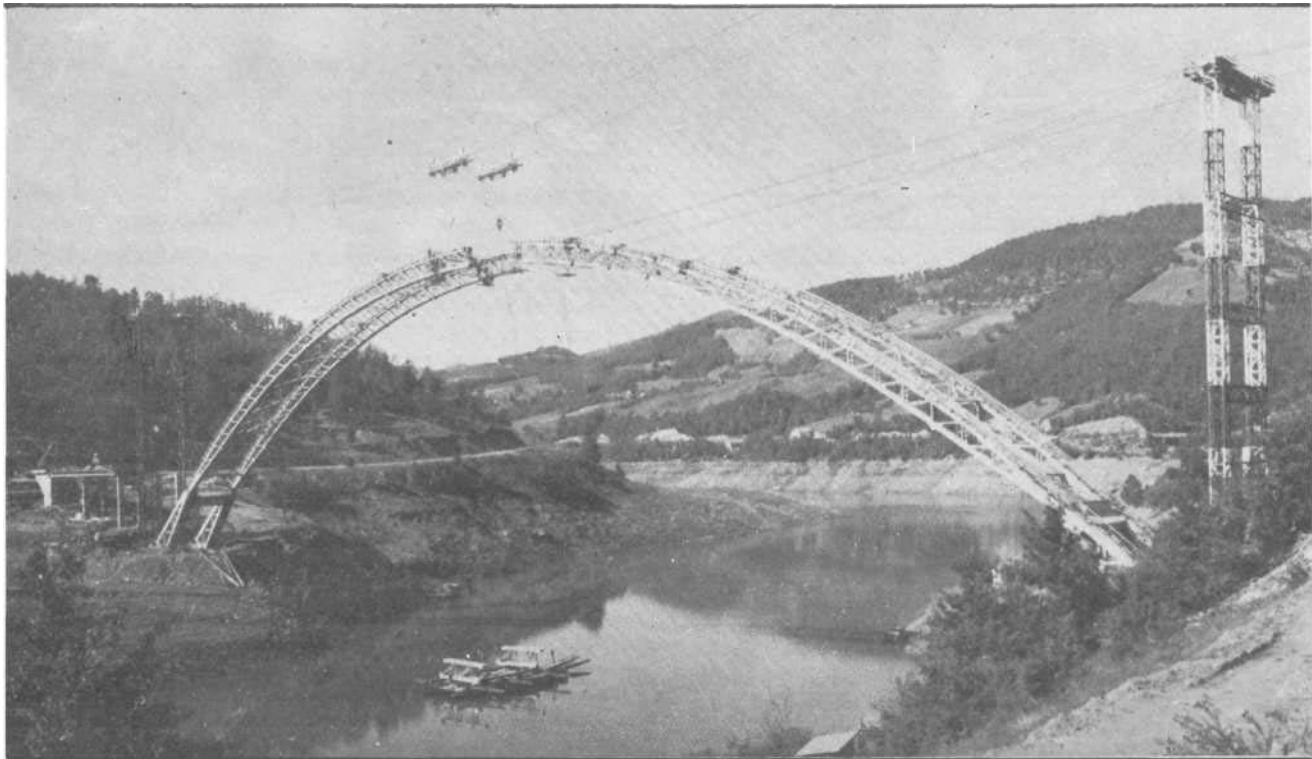
Dosadašnja iskustva u primeni prednaprezanja pokazala su da trajnost objekata isključivo zavisi od kvaliteta izvršene zaštite kablja od korozije. Priličan broj objekata u svetu doživeo je prerani kraj ili su na njima morale da budu izvršene skupe i složene sanacije. Kablovi moraju da budu trajno zaštićeni od bilo kakve, a naročito naponske korozije.

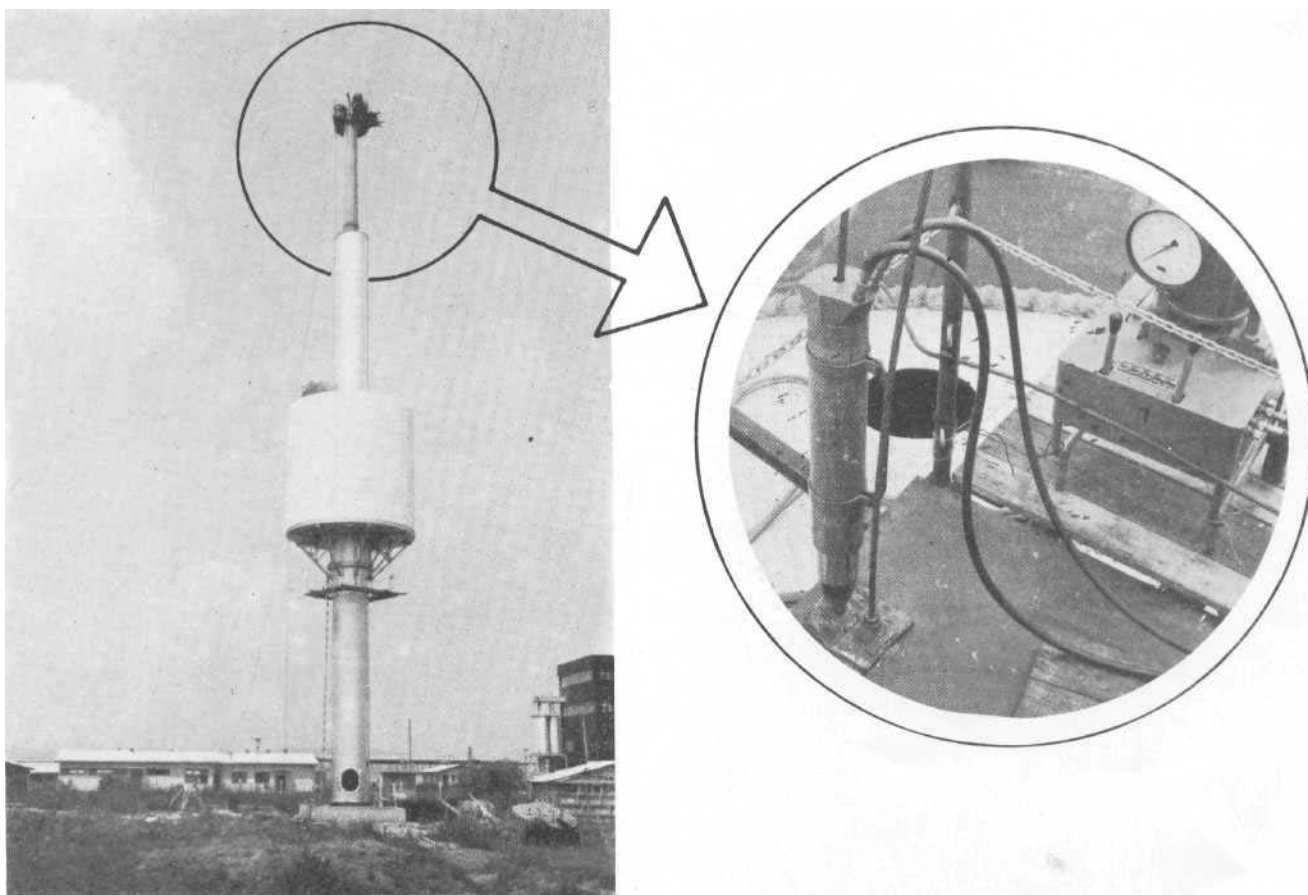
Zaštita užadi od korozije započinje nakon proizvodnje. Po pravilu, užad pre definitivne zaštite posle prednaprezanja ne bi smela imati nikakve tragove korozije. To znači da procedura zaštite užadi mora biti predviđena i ostvarena u svim fazama: transport, skladištenje, izrada, montaža i zatezanje kablja. U celokupnom procesu značajnu ulogu igra vreme i vremenske prilike. Vreme procesa treba što više skratiti, a nepovoljne vremenske uticaje eliminisati.

Zaštita kablja može biti privremena i trajna. Privremena zaštita kablja se preduzima u onim slučajevima kada kablovi zbog trajanja procesa izgradnje, faza prednaprezanja i dr. moraju u dužem vremenskom periodu ostati slobodni. Sredstva za privremenu zaštitu, odgovarajuće tečnosti ili masti, ne smeju da deluju agresivno na kablove, treba da su otporna na mraz i da ne ometaju kasniju trajnu zaštitu.

Primena kablja SPB u montaži mosta

Slika22.





Trajna zaštita može biti tako izvedena da kablovi ostanu stalno pokretni (promena sila, zamena) ili nepokretni. Zaštita pokretnih kablova vrši se specijalnim mastima koje se nakon zatezanja injektiraju u zaštitne cevi. Trajna zaštita nepokretnih kablova vrši se cementnom smesom ili smesom na bazi epoksi materijala.

U normalnim uslovima, a to je najčešće slučaj, potpuno efikasno i vrlo ekonomična zaštita je cementnom smešom. Smeša se sastoji od portland cementa, aditiva i vode. Da bi se obezbedio standardno dobar kvalitet, mešavina cementa i aditiva može se nabavljati kao atestirani materijal za zaštitu. Poznate su mešavine Instituta za ispitivanje materijala Republike Srbije SIK 042 za normalne i SIK 042z za zimske uslove. Spravljene u SPB mešalicama ove mase zadovoljavaju jugoslovenske i svetske standarde.

Za faktor $w/s=0,42$ proizvođač garantuje karakteristike prema tablici 15.

Spravljanje smeše vrši se u mutilici koja je povezana sa rezervoarom pumpe u kome se takođe nastavlja stalno blago mešanje uz istovremeno pumpanje mase u zaštitnu cev (ili prostor) kabla. Pumpa PU-50 ima promenljivi kapacitet pumpanja tako da se pritisak obično drži od 3 do 5 bara sve dok se smeša ne pojavi na drugom kraju kabla.

Tabl. 15

		Mera	. SIK042	SIK042Z
Protočnost: 1000 cm ³ , Ø=12,7 mm	0 min	s	6	- 8
	30min		7	10
Protočnost: 1000cm ³ , Ø=10,0mm/ 0 min		s	12	15
Izdvajanje vode		%	0	0
Promena zapremine		%	+1,5 ÷ 2,5	+1,5 ÷ 2,5
Pritisna čvrstoća	7 dana	MPa	19	15
	28 dana		35	30
Zapreminska masa		kg/m ³	1870	1870
Najniža temperatura injektiranja		°C	+5	-5

Tada se zatvaraju svi otvori, pritisak podiže do 10 bara, zadržava na tom nivou nekoliko minuta i nakon toga skida priključak i zatvara otvor za injektiranje.

Zaštiti kablova pri nižim temperaturama treba posvetiti posebnu pažnju. Temperatura konstrukcije je bitnija od temperature vazduha i ona se mora održati bar u narednih 48 časova posle injektiranja. Pri jako niskim temperaturama potrebno je grejanje konstrukcije i kablova ali ne

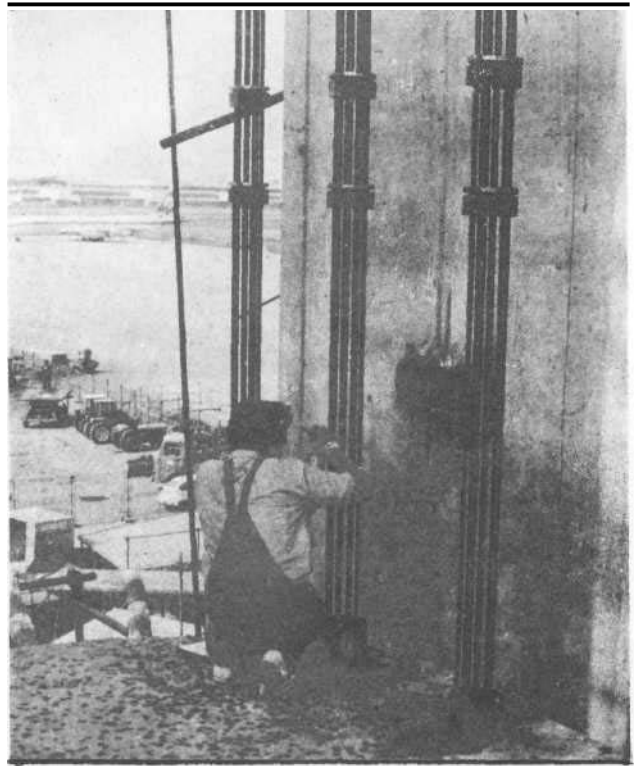
preko + 50 °C. Ukoliko se spravlja topla smeša njena temperatura u trenutku injektiranja treba da je oko + 30 °C. Kada se kablovi nalaze u agresivnoj sredini ili su slobodni u prostoru primenjuje se poboljšana zaštita koja se sastoji u sledećem:

1. primena galvaniziranih užadi ili užadi sa epoksi zaštitom,
2. ispunjavanje prostora zaštitne cevi smešom na bazi epoksi materijala ili masti i
3. primena polietilenskih zaštitnih cevi.

Ukoliko su sva tri uslova ispunjena izvršena je maksimalna zaštita kablova, koja je i pored visoke cene opravdana za posebne uslove.

Montaža nosača mase 1800t kablovima 11Ø15,2

Slika 24.



Pored zaštite kabla mora se dobro zaštititi i kraj kabla sa kotvom. To je naročito osetljivo mesto kada se radi o pokretnim kablovima pa ovaj detalj u okviru kotve mora biti posebno rešen. Kada se zaštita kablova izvodi cementnom smešom, posle skraćivanja užadi kotve betonira se zaštitni sloj.

Zaštitni sloj betona mora imati propisanu debljinu. Beton treba da bude kompaktna, visoke čvrstoće, armiran i čvrsto povezan sa konstrukcijom kako bi kotvama i kablovima pružio dugotrajnu efikasnu zaštitu od korozije.