

PREDNAPETI BETON



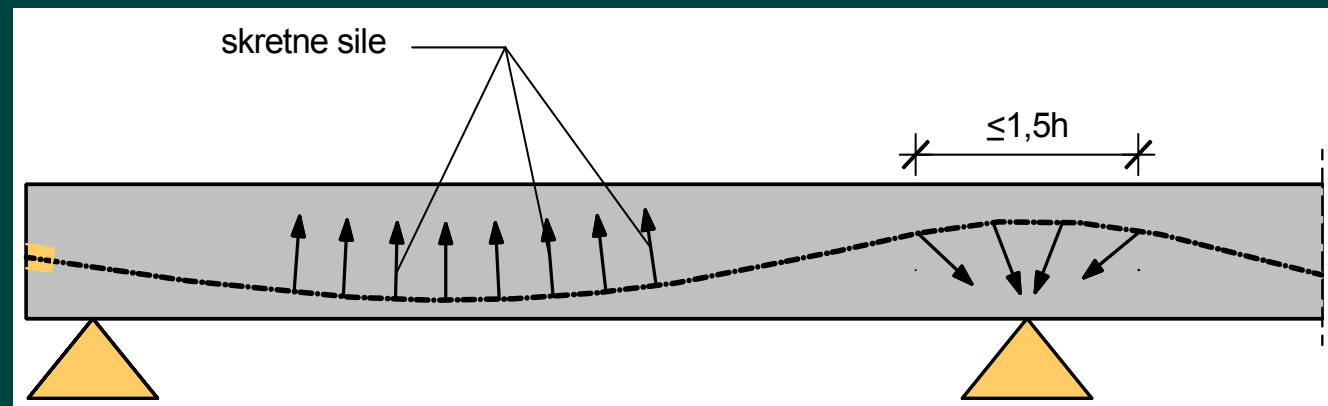
– 9 –

**DETALJI I KONSTRUKTIVNA PRAVILA
ZA PREDNAPETE KONSTRUKCIJE**

KONSTRUKTIVNA PRAVILA ZA VOĐENJE NATEGA

- zaštitni sloj betona
- najmanji razmaci zaštitnih cijevi i sidara, odnosno spojki
- potrebno je osigurati neosjetljivost konstrukcije na odstupanja dimenzija
 - Osnovni kriterij dobrog vođenja natega je jasno prepoznavanje odstupanja predviđenih vrijednosti od stvarno izmjerenih.
- armatura i položaj sidara (spojki)
- momenti od prednapinjanja bi trebali djelovati suprotno od opterećenja vlastitom težinom i prometom;
- potrebno je pridržavati se najmanjih radijusa vođenja natega.

- *skretne sile direktno predati na ležaje*
- *što veće skretne sile naspram gore u polju*



ZAŠTITNI SLOJ

- Nazivna veličina zaštitnog sloja:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

- **c_{min}** najmanja debljina zaštitnog sloja osigurava:
 - siguran prienos sila prionjivošću
 - zaštitu čelika od korozije
 - propisanu zaštitu od požara
- **Δc_{dev}** dodatna vrijednost odstupanja ovisi o:
 - Veličini, obliku i vrsti konstruktivnog elementa
 - vrsti konstrukcije
 - izvedbi
 - provedbi postupaka kontrole kvalitete

a uzima se sa sljedećim vrijednostima:

 - preporučena vrijednost 10 mm
 - kad je osigurana kontrola kvalitete proizvodnje: -10 – 5 mm
 - kad su osigurani uređaji za precizno mjerenje: -10 – 0 mm

ZAŠTITNI SLOJ

- Za osiguranje prijenosa sila C_{min} ne smije biti manji od

- d_s promjera armature ili zaštitne cijevi natega odnosno
- d_{sv} zamjenskog profila za grupiranu armaturu (snop)

$$d_{sv} = d_s \cdot \sqrt{n}$$



(Kada je $d_g > 32 \text{ mm}$, $d_s + 5 \text{ mm}$ gdje je d_g promjer najvećeg zrna agregata)

- Za cijevi naknadnog prednapinjanja:

- kružne cijevi: promjer
- pravokutne cijevi: ili manja dimenzija ili pola veće dimenzije, veća vrijednost je mjerodavna

- Za prethodno napete natege:

- 1,5 x promjer užadi ili žice
- 2,5 x promjer razmaknutih žica

ZAŠTITNI SLOJ

- Za osiguranje trajnosti uzimajući u obzir

- razrede izloženosti i
- razrede konstrukcije

C_{min} ne smije biti manji od vrijednosti u tablici koje se prilagođavaju ovisno o

- projektiranom vijeku uporabe
- razredu čvrstoće
- tome da li je u pitanju pločasti konstrukcijski element
- tome da li je osigurana posebna kontrola kvalitete

- Preporučeni razred konstrukcije za vijek uporabe od 50 godina je **S4**.

Najmanja debljina zaštitnog sloja iz uvjeta okoliša prema EN 1992-1-1: **PREDNAPETA ARMATURA**

Razred konstrukcije	RAZREDI IZLOŽENOSTI						
	X0	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1	XD2 XS1	XD3 XS2 XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65
Projektirani vijek uporabe 100 godina							
	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2
Razred čvrstoće							
	≥C30/37 -1	≥C30/37 -1	≥C35/45 -1	≥C40/50 -1	≥C40/50 -1	≥C40/45 -1	≥C45/55 -1
Pločasti konstr. element (izvedba nema utjecaj na položaj armature)							
	-1	-1	-1	-1	-1-	-1	-1
Osigurana posebna kontrola kvalitete proizvodnje betona							
	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Dopuštena odstupanja od gornjih vrijednosti							
-gore navedene granice za kriterij razreda čvrstoće se mogu ublažiti tj. može se kao granica uzeti za jedan niži razred čvrstoće ako je sadržaj zraka veći od 4% -poseban sastav betona kojim se dobiva beton manje propusnosti nije uzet u obzir u ovoj tablici, ali se dopušta razmotriti njegov utjecaj							

RAZREDI IZLOŽENOSTI I PREPORUČENE GRANIČNE VRIJEDNOSTI SASTAVA I SVOJSTAVA BETONA (50 god, CEM I; 20 – 32 mm)

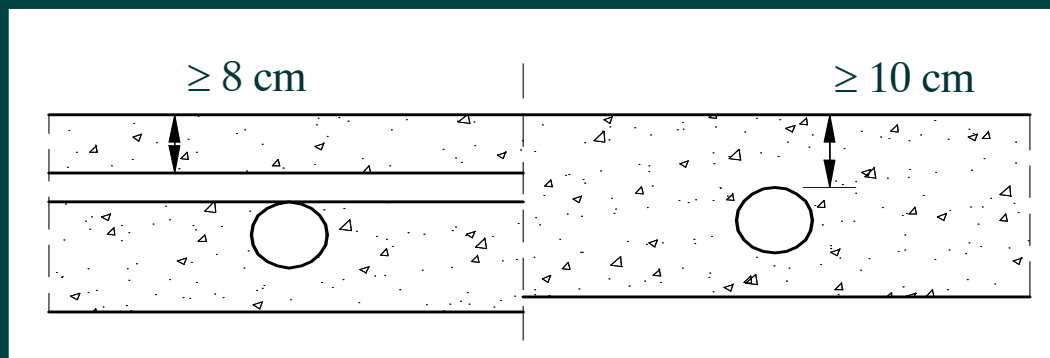
Oznaka razreda	Opis okoliša	Primjer	Max v/c	Min cement [kg/m³]	Razred čvrstoće
1 Nema rizika korozije. Većina praktične primjene betona u zatvorenim prostorima.					
X0	<i>Nearmirani beton ili beton u koji nije ugrađen metal:</i> svi uvjeti izloženosti izuzev ciklusa smrzavanje /odmrzavanje, abrazije ili kemijskog djelovanja <i>Armirani beton ili beton u koji je ugrađen metal:</i> vrlo suh okoliš	Beton u tlu bez izloženosti smrzavanju. Beton unutar građevine s vrlo niskom vlažnosti zraka.	-	-	C12/15
2 Korozija uzrokovana karbonatizacijom (H₂O, CO₂). Većina praktične primjene betona u vanjskim uvjetima, uz ograničenje u slučaju izloženosti konstrukcije ili njenog dijela djelovanju soli. Utjecaji koji potiču koroziju armature.					
XC1	Suh ili stalno vlažan	Beton unutar građevina s niskom vlagom zraka. Beton stalno u vodi.	0,65	260	C20/25
XC2	Vlažan, rjeđe suh	Betonske površine izložene dugotrajnom dodiru s vodom. Mnogi temelji.	0,60	280	C25/30
XC3	Umjereno vlažan	Beton unutar građevina s umjerenom ili visokom vlažnosti zraka. Vanjski beton zaštićen od kiše.	0,55	280	C30/37
XC4	Naizmjenično vlažan i suh	Betonske površine u dodiru s vodom, koje nisu u XC2. Vanjski elementi izloženi kiši.	0,50	300	C30/37
3 Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora (H₂O, Cl). Beton konstrukcija u kontinentalnim krajevima koje su izložene djelovanju soli.					
XD1	Umjereno vlažan	Betonske površine izložena kloridima iz zraka.	0,55	300	C30/37
XD2	Vlažan, rjeđe suh	Bazeni, beton izložen industrijskim vodama koje sadrže kloride.	0,55	300	C30/37
XD3	Naizmjenično vlažan i suh	Dijelovi mostova izloženi prskanju s kloridima, kolnici, parkirališta, međukatne konstrukcije javnih garaža.	0,45	320	C35/45

RAZREDI IZLOŽENOSTI I PREPORUČENE GRANIČNE VRIJEDNOSTI SASTAVA I SVOJSTAVA BETONA (50 god, CEM I; 20 – 32 mm)

Oznaka razreda	Opis okoliša	Primjer	Max v/c	Min cement [kg/m ³]	Razred čvrstoće
4 Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode (H₂O, Cl). Betonske konstrukcije u morskom okolišu.					
XS1	Izloženost solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	Konstrukcije blizu mora ili na obali.	0,50	300	C30/37
XS2	Stalna uronjenost	Dijelovi konstrukcije u moru.	0,45	320	C35/45
XS3	Područje plime i oseke i područje valova i zapljuskivanja	Dijelovi konstrukcije u moru.	0,45	340	C35/45
5 Djelovanje smrzavanja i odmrzavanja sa soli za odmrzavanje ili bez nje. Oštećenja betona.					
XF1	Umjerena zasićenost vodom bez soli za odmrzavanje	Vertikalne površine betona izložene kiši i smrzavanju.	0,55	300	C30/37
XF2	Umjerena zasićenost vodom sa solima za odmrzavanje	Vertikalne površine betona cestovnih konstrukcija izložene smrzavanju i solima za odmrzavanje iz zraka.	0,55	300	C25/30
XF3	Visoka zasićenost vodom bez soli za odmrzavanje	Horizontalne površine betona izložene kiši i smrzavanju.	0,50	320	C30/37
XF4	Visoka zasićenost vodom sa solima za odmrzavanje	Kolnici i mostovske kolničke ploče izložene solima za odmrzavanje. Površine betona izložene prskanju vodom koja sadrži soli za odmrzavanje i smrzavanju. Područja vlaženja morem izložena smrzavanju.	0,45	340	C30/37
6 Kemijsko djelovanje iz prirodnog tla i podzemne vode. Dana je razredba kemijski agresivnog okoliša ovisno o vrijednosti pojedinih kemijskih karakteristika (sadržaj SO ₄ ²⁻ , CO ₂ , NH ₄ ⁺ , Mg ²⁺ , pH, kiselost). Ako se radi o djelovanjima izvan te razredbe, drugim agresivnim kemikalijama, velikoj brzini vode u kombinaciji sa određenim kemikalijama, može biti potrebna posebna studija za utvrđivanje odgovarajuće izloženosti.					
XA1	Lagano kemijski agresivan okoliš	Prirodno tlo ili podzemna voda	0,55	300	C30/37
XA2	Umjereno kemijski agresivan okoliš	Prirodno tlo ili podzemna voda	0,50	320	C30/37
XA3	Vrlo kemijski agresivan okoliš	Prirodno tlo ili podzemna voda	0,45	360	C35/45

ZAŠTITNI SLOJ – dodatna pravila za mostove

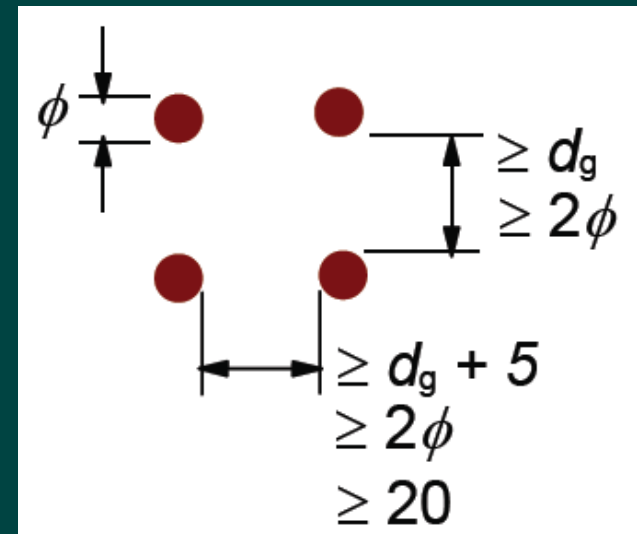
- Debljina zaštitnog sloja za zaštitne cijevi u kolničkoj ploči, prema kolniku:
 - 10 cm** za uzdužne natege,
 - 8 cm** za poprečne natege.



- Kada se betonira na licu mjesta na postojeću betonsku površinu (predgotovljene elemente) dovoljno je da zaštitni sloj zadovolji samo u pogledu osiguranja prijenosa sila. Uvjeti na postojeću betonsku površinu su da:
 - nije bila izložena vanjskim uvjetima duže od **28 dana**
 - je hrapava
 - je razreda čvrstoće minimalno **C25/30**
- Gdje je površina betona izložena abraziji usljed leda ili krutih tvari u tekućoj vodi zaštitni sloj valja povećati minimalno **10 mm**.

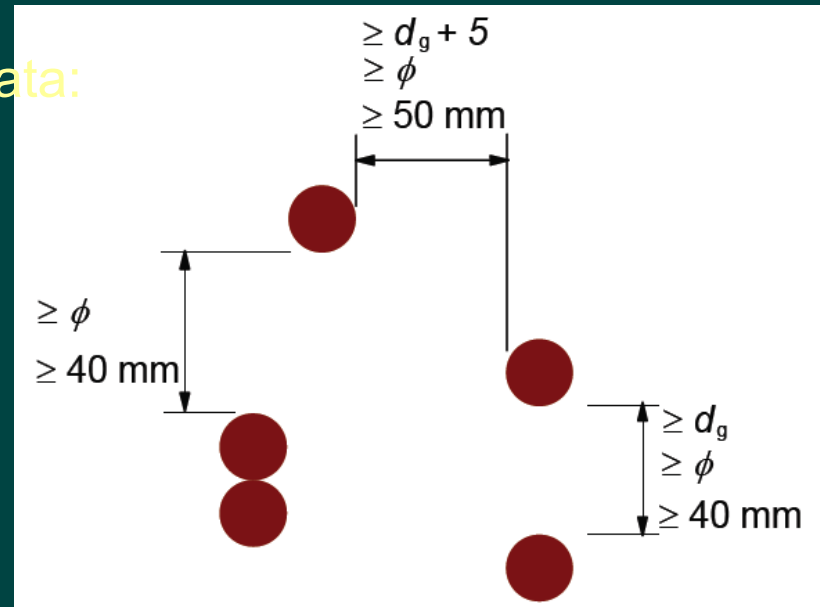
RASPORED KABELA I CIJEVI

- ...mora osigurati
 - uspješno lijevanje i zbijanje betona i
 - postizanje dovoljno čvrste veze između kabela i betona.
- Minimalna slobodna horizontalna i vertikalna udaljenost pojedinačnog kabela za prethodno prednapinjanje:
 - ϕ promjer kabela,
 - d_g maksimalna veličina zrna agregata:
- Drukčiji raspored moguć je jedino ako su provedena ispitivanja pokazala zadovoljavajuće rezultate u pogledu:
 - Betona u tlaku na sidru
 - Ljuštenja betona
 - Sidrenja pretodno napetog kabela
 - Lijevanja betona između kabela
- Valja posvetiti pažnju i trajnosti i opasnosti od korozije kabela na kraju elementa.



RASPORED KABELA I CIJEVI

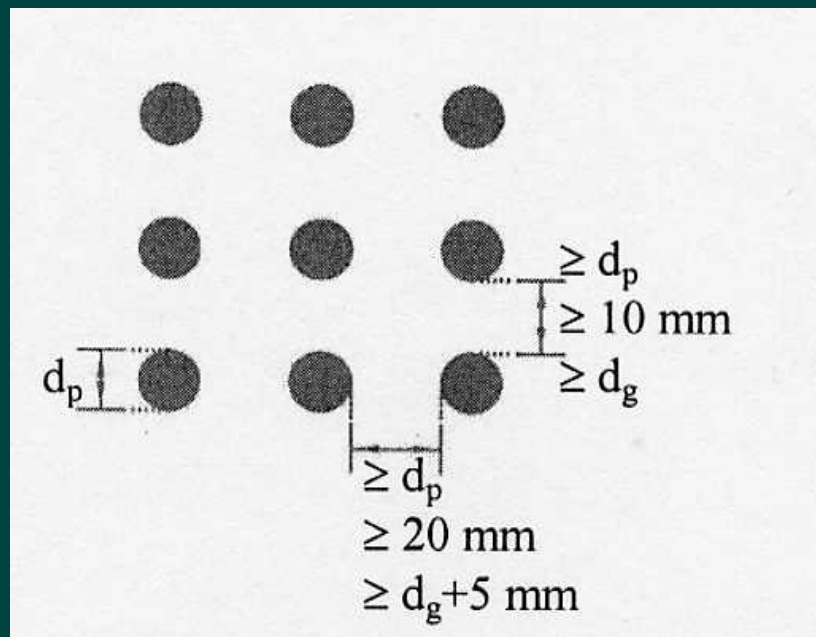
- Cijevi naknadnog prednapinjanja valja postaviti i izvesti tako da:
 - se beton može sigurno lijevati bez da oštećuje cijevi
 - se beton može oduprijeti silama koje se javljaju na zaobljenim dijelovima cijevi tijekom i nakon prednapinjanja
 - injekcijska smjesa neće curiti u druge cijevi tijekom procesa injektiranja.
- Cijevi za naknadno prednapinjanje obično se na grupiraju, osim u slučaju dvije cijevi koje se postavljaju jedna iznad druge.
- Minimalne slobodne udaljenosti cijevi za naknadno prednapinjanje:
 - ϕ promjer cijevi,
 - d_g maksimalna veličina zrna agregata:



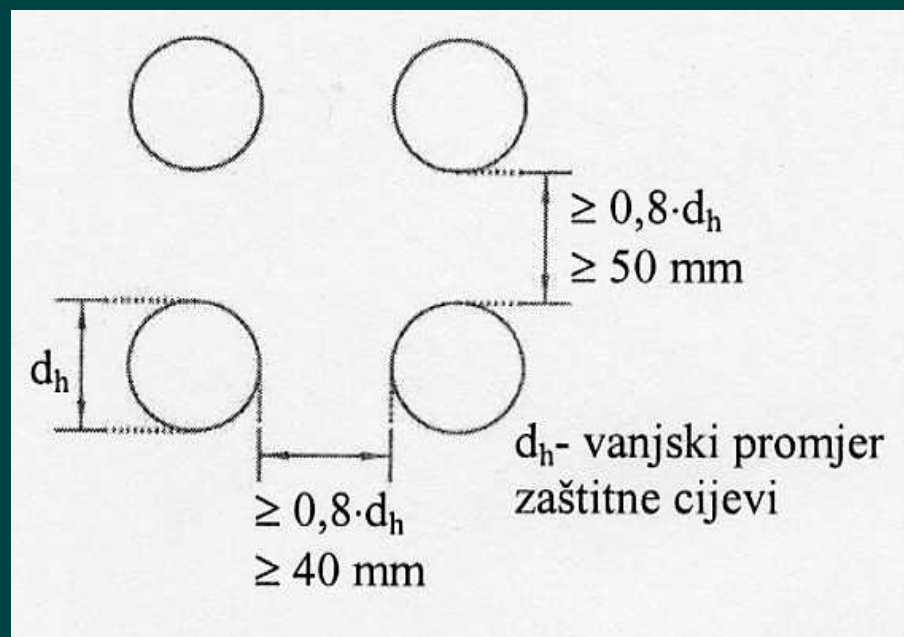
RASPORED KABELA I CIJEVI

- Prema DIN 1045-1 vrijede manje vrijednosti:

kabli prethodnog prednapinjanja



cijevi za naknadno prednapinjanje



RASPORED KABELA I CIJEVI

■ Prema DIN 1045-1 dodatno:

■ Prilikom određivanja najmanjih razmaka natega

⇒ potrebno je obratiti pažnju i na najmanje potrebne razmake za ugradnju i vibriranje betona.

■ Detaljniju analizu i provjeru zahtijevaju:

- gusto armirana područja oko sidara i spojki, a kritični su
- i vitki elementi, kao što su hrptovi sandučastih nosača.

■ Bez razmaka za vibriranje ne bi trebalo izvoditi više od

⇒ **3** natege jedna do druge u horizontalnom smjeru.

■ Širina otvora za vibriranje ovisi o opremi, a najmanje iznosi

- **10 cm** kod elemenata viših od **2 m**.

■ Kod visokih i/ili nagnutih otvora za injektiranje

- potrebno je koristiti cijev za betoniranje kako bi se spriječila segregacija betona (kontraktor postupak).

RASPORED KABELA I CIJEVI

- ▣ Prema DIN 1045-1 dodatno:
 - Razmak natega ugrađenih u betonski presjek do pocinčanih elemenata, koji se ugrađuju u presjek, ili do pocinčane armature,
 - ▣ mora biti najmanje **20 mm** i
 - ▣ nesmije postojati nikakva metalna veza između pocinčanog elementa i natege.
 - Između natega sa ostvarenim sprezanjem i ugrađenih elemenata (npr. slivnika)
 - ▣ mora se zadržati najmanje **10 cm** svijetlog razmaka.

MINIMALNI BROJ NATEGA

- .. je potreban kako bi one sa dostatnom sigurnošću osiguravale da
 - ukoliko dođe do otkazivanja određenog broja šipaka, žica ili natega
 - ne dođe do otkazivanja nosivosti konstruktivnog elementa.

- Ovisno o vrsti najmanji broj natega uz pretpostavku jednakih promjera unutar jedne grupe:
 - pojedinačna šipka ili žica  3
 - žice skupljene u uže  7
 - natega (osim samostalnog užeta)  3
 - uže sa ≥ 7 žica uz promjer žica ≥ 4 mm  1

- Ukoliko je ugrađen broj šipki, žica i natega u konstruktivni element manji od navedenih vrijednosti potrebno je dokazati dostatnu sigurnost na slom.

VOĐENJE NATEGA RAVNO ILI ZAKRIVLJENO

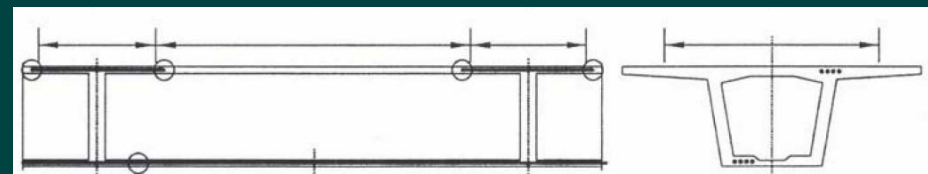
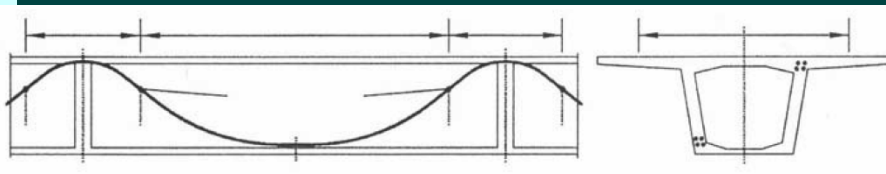
ZAKRIVLJENO VOĐENJE

RAVNO VOĐENJE

PREDNOSTI

- Vođenje po paraboli proizvodi konstantne skretene sile koje se izravno suprotstavljaju vanjskom kontinuiranom djelovanju.
- Oblik vođenja može se prilagoditi vanjskom djelovanju, čime je moguće ekonomičnije iskorištavanje čelika.
- Moguće je polaganje duljih natega koje se protežu kroz više polja, čime se smanjuje broj sidrenih mjesta.

- Natege su jednostavne pa se brže postavljaju.
- Hrptovi su oslobođeni natega pa se mogu prema statičkim i konstr. pravilima izvesti tanji – smanjenje vl.tež. i sila od prisila.
- Može se iskoristiti maksimalni krak sila (za razliku od vanjskog prednap.)
- Minimalni gubitci zbog trenja
- Smanjivanje broja aktivnih natega, prema potrebi, jednostavno je izvesti



VOĐENJE NATEGA RAVNO ILI ZAKRIVLJENO

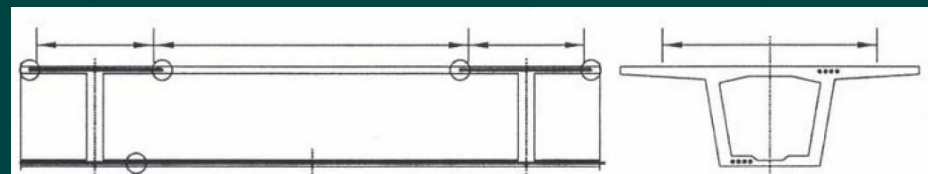
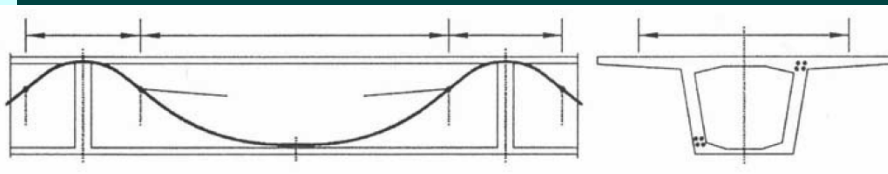
ZAKRIVLJENO VOĐENJE

NEDOSTACI

- ❑ Potrebne su veće debljine hrptova, posebno u područjima sidrenja i nastavljanja natega.
- ❑ Trenje uzrokuje velike gubitke sile prednapinjanja na zakrivljenim mjestima.

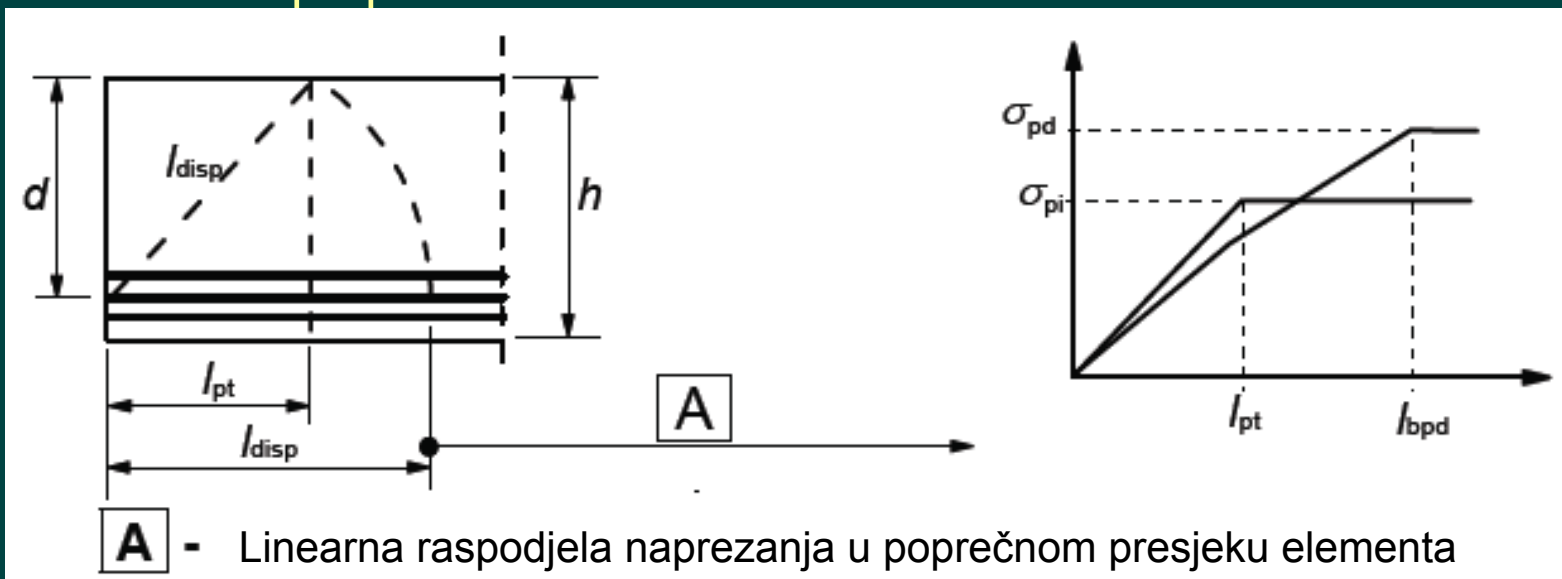
RAVNO VOĐENJE

- ❑ Ne mogu se iskoristiti skretne sile za preuzimanje dijela kontinuiranog djelovanja.
- ❑ Ravnim nategama ne stvaraju se rasterećujuće poprečne sile.
- ❑ Zbog velikih duljina nastavljanja, kod kontinuiranih nosača, povećava se utrošak čelika za prednapinjanje.



SIDRENJE PRETHODNO NAPETIH KABELA

- U zonama sidrenja prethodno prednapetih elemenata valja uzeti u obzir sljedeće duljine:
 - Duljina prijenosa** l_{pt} preko koje se sila prednapinjanja P_0 potpuno prenosi na beton
 - Duljina rasipanja** l_{disp} preko koje se naprezanja u betonu postupno rasipaju na linearnu raspodjelu preko poprečnog presjeka betona
 - Duljina sidrenja** l_{bpd} , preko koje je sila kabela F_{pd} u graničnom stanju nosivosti potpuno usidrena u beton.



SIDRENJE PRETHODNO NAPETIH KABELA

PRIJENOS NAPREZANJA

- Pri opuštanju kabela, pretpostavlja se da se prednaprezanje prenosi na beton preko konstantnog naprezanja prijanjanja f_{bpt}

$$f_{bpt} = \eta_{p1} \eta_1 f_{ctd}(t)$$

- η_{p1}, η_1 koeficijenti kojima se uzima u obzir vrsta kabela i razina prijanjanja
 - $\eta_{p1} = 2,7$ za razmaknute žice
 - $\eta_{p1} = 3,2$ za užad od 3 ili 7 žica
 - $\eta_1 = 1,0$ za povoljne uvjete prijanjanja
 - $\eta_1 = 0,7$ u suprotnom, osim ako veća vrijednost nije opravdana s obzirom na posebne prilike tijekom izvedbe
- $f_{ctd}(t)$ proračunska vrijednost vlačne čvrstoće u trenutku opuštanja

$$f_{ctd}(t) = \alpha_{ct} \cdot 0,7 \cdot f_{ctm}(t) / \gamma_c$$

- α_{ct} koeficijenti kojima se uzima u obzir dugotrajni učinci na vlačnu čvrstoću, usljed načina primjene opterećenja, preporučeno = **1,0**

SIDRENJE PRETHODNO NAPETIH KABELA PRIJENOS NAPREZANJA

□ Osnovna vrijednost duljine prijenosa

$$l_{pt} = \alpha_1 \alpha_2 \phi \sigma_{pm0} / f_{bpt}$$

- $\alpha_1=1,0$ za postupno opuštanje, $=1,25$ za naglo opuštanje
- $\alpha_2=0,25$ za kabele kružnog pop.presjeka, $=0,19$ za užad od 3 ili 7 žica
- ϕ nazivni promjer kabela
- σ_{pm0} naprezanja kabela neposredno nakon opuštanja

□ Proračunska vrijednost duljine prijenosa uzima se kao nepovoljnija od sljedećih dviju:

$$l_{pt1} = 0,8 l_{pt}$$

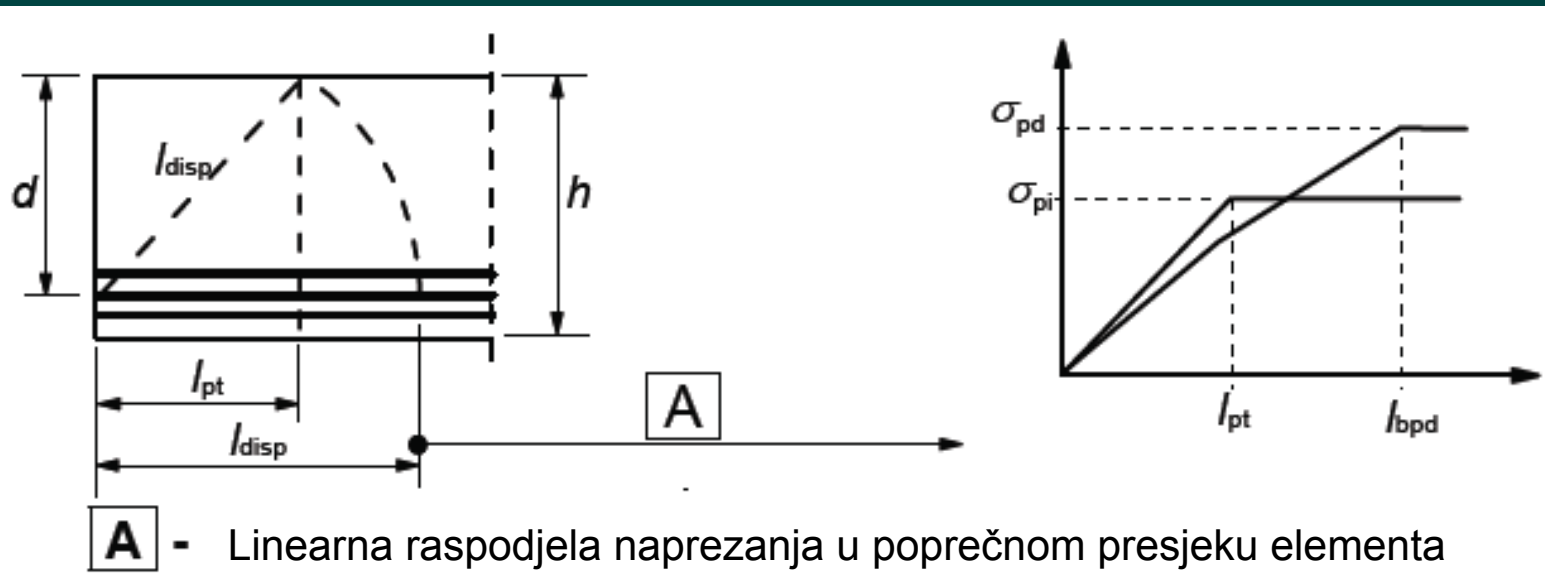
$$l_{pt2} = 1,2 l_{pt}$$

- Obično se niža vrijednost uzima za provjeru lokalnih naprezanja pri opuštanju,
- a veća vrijednost za GSN (posmika, sidrenja)

SIDRENJE PRETHODNO NAPETIH KABELA PRIJENOS NAPREZANJA

- Linearna raspodjela naprezanja u betonu može se uzeti izvan duljine rasipanja l_{disp}

$$l_{disp} = \sqrt{l_{pt}^2 + d^2}$$



SIDRENJE PRETHODNO NAPETIH KABELA

SIDRENJE VLAČNE SILE ZA GSN

- Sidrenje kabela valja provjeriti samo u presjecima gdje vlačno naprezanje u betonu prekoračuje $f_{ctk,0,05}$.
- Sila u kabeu proračunava se za raspucali presjek, uključujući učinak posmika.
- Čvrstoća prijanjanja za sidro pri GSN iznosi:

$$f_{bpd} = \eta_{p2} \eta_1 f_{ctd}$$

- η_{p2}, η_1 koeficijenti kojima se uzima u obzir vrsta kabela i razina prijanjanja
 - $\eta_{p2} = 1,4$ za razmaknute žice
 - $\eta_{p2} = 1,2$ za užad od 7 žica
 - $\eta_1 = 1,0$ za povoljne uvjete prijanjanja
 - $\eta_1 = 0,7$ u suprotnom, osim ako veća vrijednost nije opravdana s obzirom na posebne prilike tijekom izvedbe
- Usljed povećanja krtosti s većom čvrstoćom betona, $f_{ctk,0,05}$ se ograničava na vrijednost za razred **C60/75**, osim ako se potvrdi da se prosječna čvrstoća prijanjanja povećava iznad ove vrijednosti

SIDRENJE PRETHODNO NAPETIH KABELA

SIDRENJE VLAČNE SILE ZA GSN

- Ukupna duljina sidrenja za sidrenje kabela s naprezanjem σ_{pd} iznosi:

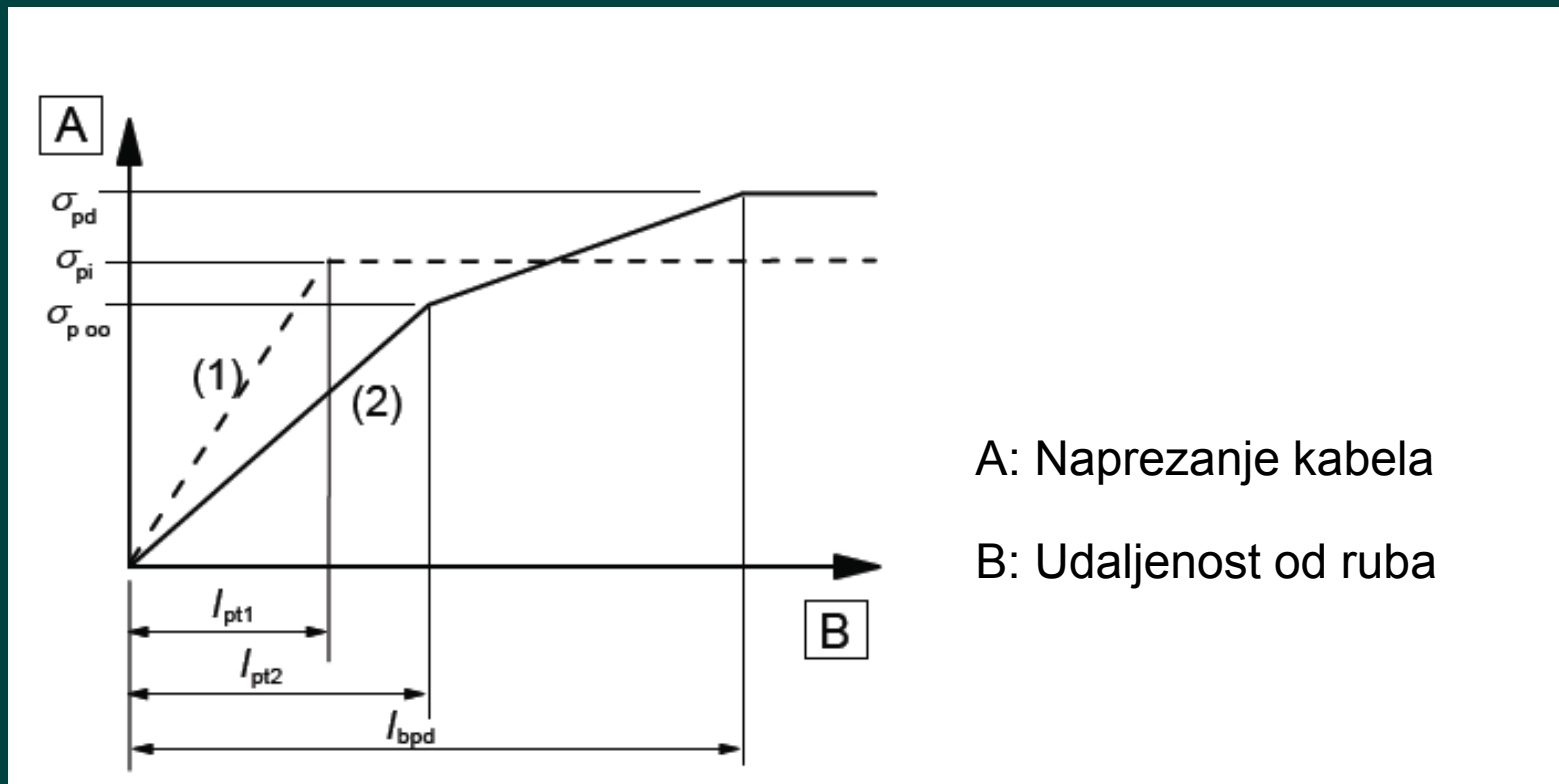
$$l_{bpd} = l_{pt2} + \alpha_2 \phi (\sigma_{pd} - \sigma_{pm\infty}) / f_{bpd}$$

- l_{pt2} je gornja vrijednost duljine prijenosa
 - $\alpha_2 = 0,25$ za kabele kružnog pop.presjeka, $= 0,19$ za užad od 3 ili 7 žica
 - σ_{pd} je naprezanje kabela
 - $\sigma_{pm\infty}$ je prednapinjanje poslije svih gubitaka
- Kada se kombinira uobičajena armatura s prethodnim prednapinjanjem, mogu se zbrojiti njihovi pojedini kapaciteti sidrenja.

SIDRENJE PRETHODNO NAPETIH KABELA

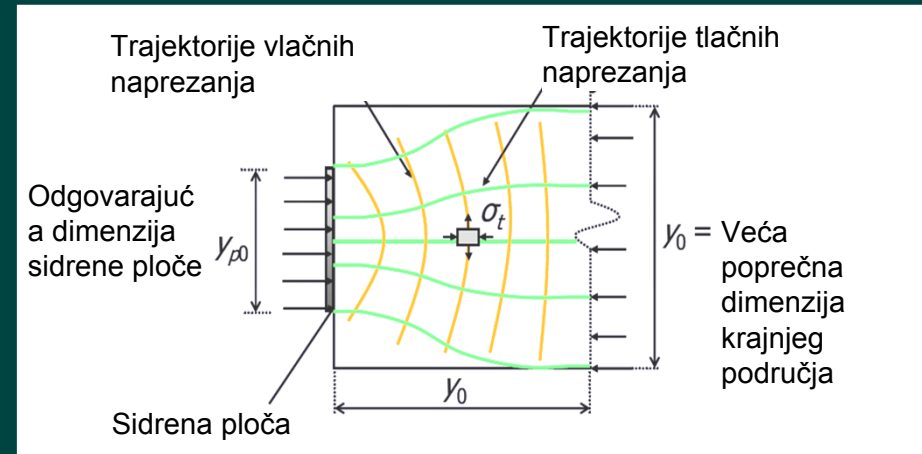
SIDRENJE VLAČNE SILE ZA GSN

- Naprezanja u sidrenoj zoni prethodno prednapetih elemenata
 - (1) pri opuštanju kabela
 - (2) pri graničnom stanju nosivosti



SIDRENJE NAKNADNO NAPETIH KABELA

- Armatura potrebna za vlačnu silu koja se stvara pri unosu koncentrirane sile u beton rasprostire se po duljini u kojoj su trajektorije tlaka zakrivljene.

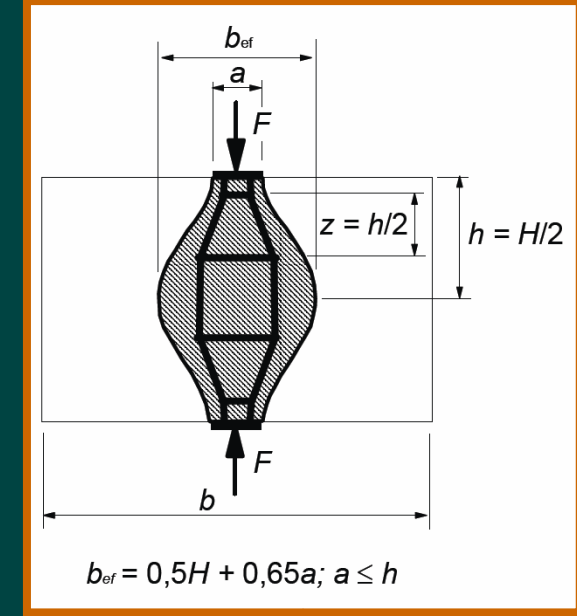
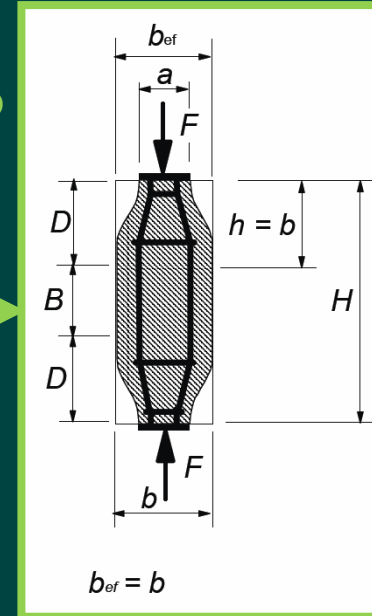


- Vlačna sila može se odrediti
 - Za djelomično diskontinuirano područje (D: diskontinuitet, B kontinuitet); $b \leq H/2$:**

$$T = \frac{1}{4} \frac{b-a}{b} F$$

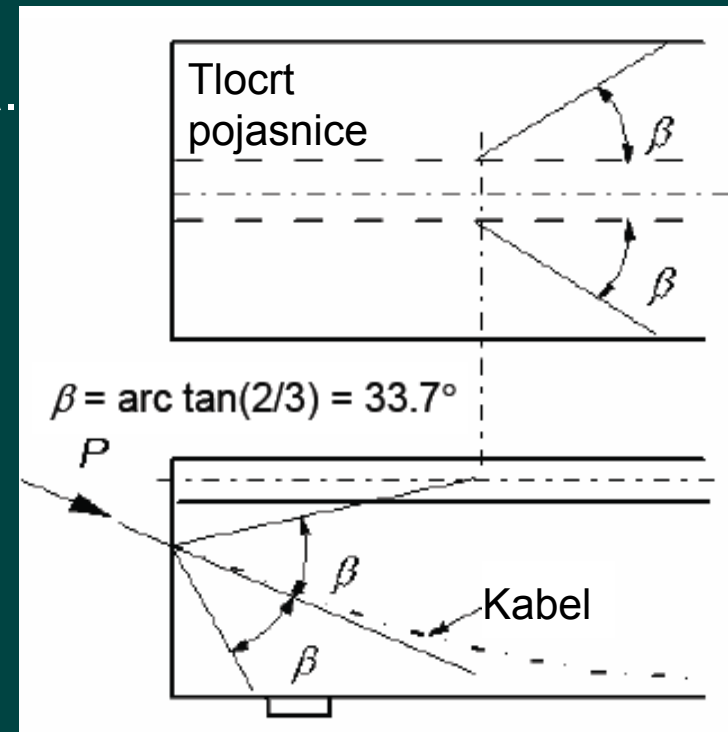
- Za potpuno diskontinuirano područje; $b > H/2$:**

$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 0,7 \frac{a}{h} \right) F$$



SIDRENJE NAKNADNO NAPETIH KABELA

- Kada se učinci prednapinjanja promatraju kao koncentrirana sila na zonu sidrenja, proračunska vrijednost prednapinjanja kabela određuje se primjenom
 - parc.koef. $\gamma_{P,unfav} = 1,2$
 - i nižom karakterističnom vlačnom čvrstoćom betona
- Pri dimenzioniranju armature primjenjuje se proračunska čvrstoća. Ako je naprezanje u armaturi ograničeno na **300 MPa** nije potrebna provjera pukotina.
- Kod mostova je ovo ograničenje **250 MPa**.
- Pojednostavnjeno se može uzeti da se sila prednapinjanja rasprostire pod kutom **2β** , počevši od kraja sidra, gdje se β može pretpostaviti kao **$\arctan 2/3$**



SIDRENJE NAKNADNO NAPETIH KABELA kod mostova (2 ili više kabela)

- Armatura potrebna za sprečavanje raspucavanja i odlamanja u sidrenoj zoni određuje se za pravokutnu betonsku prizmu (*prizma primarnog reguliranja*) smještenu iza svakog sidra.
- Poprečni presjek prizme povezan sa svakim sidrom (*vezni pravokutnik*) ima isto središte i istu os simetrije kao i sidrena ploča (koja mora imati dvije osi simetrije) i mora zadovoljiti:

$$\frac{P_{\max}}{c \cdot c'} \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$$

- $P_{\max}$ maksimalna sila primjenjena na kabel
- c, c' dimenzije vznog pravokutnika
- $f_{ck}(t)$ čvrstoća u vrijeme napinjanja

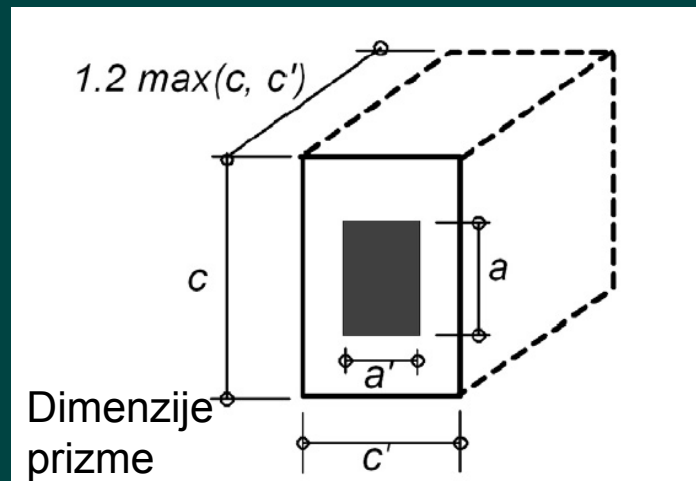
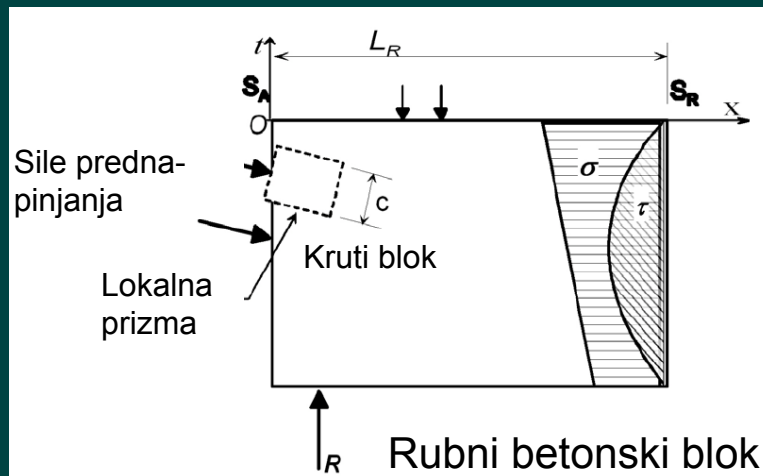
$$c/a \text{ i } c'/a' \leq 1,25 \sqrt{\frac{c \cdot c'}{a \cdot a'}}$$

zadovoljava uvjet: vezni pravokutnik bi trebao imati isti odnos dimenzija kao i sidrena ploča

- a, a' dimenzije najmanjeg pravokutnika uključujući i sidrenu ploču

SIDRENJE NAKNADNO NAPETIH KABELA kod mostova (2 ili više kabela)

- Pravokutnici vezani uz sidra u istom poprečnom presjeku moraju biti unutar betona i ne smiju se preklapati.
- *Prizma primarnog reguliranja* predstavlja vrlo približno volumen betona u kojem se naprezanja mijenjaju od vrlo visokih vrijednosti neposredno iza sidrene ploče to umjerenih vrijednosti za beton pod jednoosnim tlakom.
- Os prizme uzima se kao os kabela, baza joj je vezni pravokutnik, a visina iza sidra joj je **1,2 max (c, c')**.
- Prizme povezane s različitim sidrima mogu se preklapati (ovo se događa kada kabeli nisu paralelni) ali moraju ostati unutar betona.



SIDRENJE NAKNADNO NAPETIH KABELA kod mostova (2 ili više kabela)

- Armatura za sprečavanje raspucavanja i odlamanja betona, u svakoj prizmi reguliranja ne smije biti manja od:

$$A_s = 0,15 \frac{P_{\max}}{f_{yd}} \gamma_{p,\text{unfav}} \quad \gamma_{p,\text{unfav}} \geq 1,20$$

- Ova armatura raspoređuje se u svakom smjeru po cijeloj duljini prizme.
- Površinska armatura na opterećenoj strani u oba smjera ne smije biti manja od:

$$0,03 \frac{P_{\max}}{f_{yd}} \gamma_{p,\text{unfav}}$$

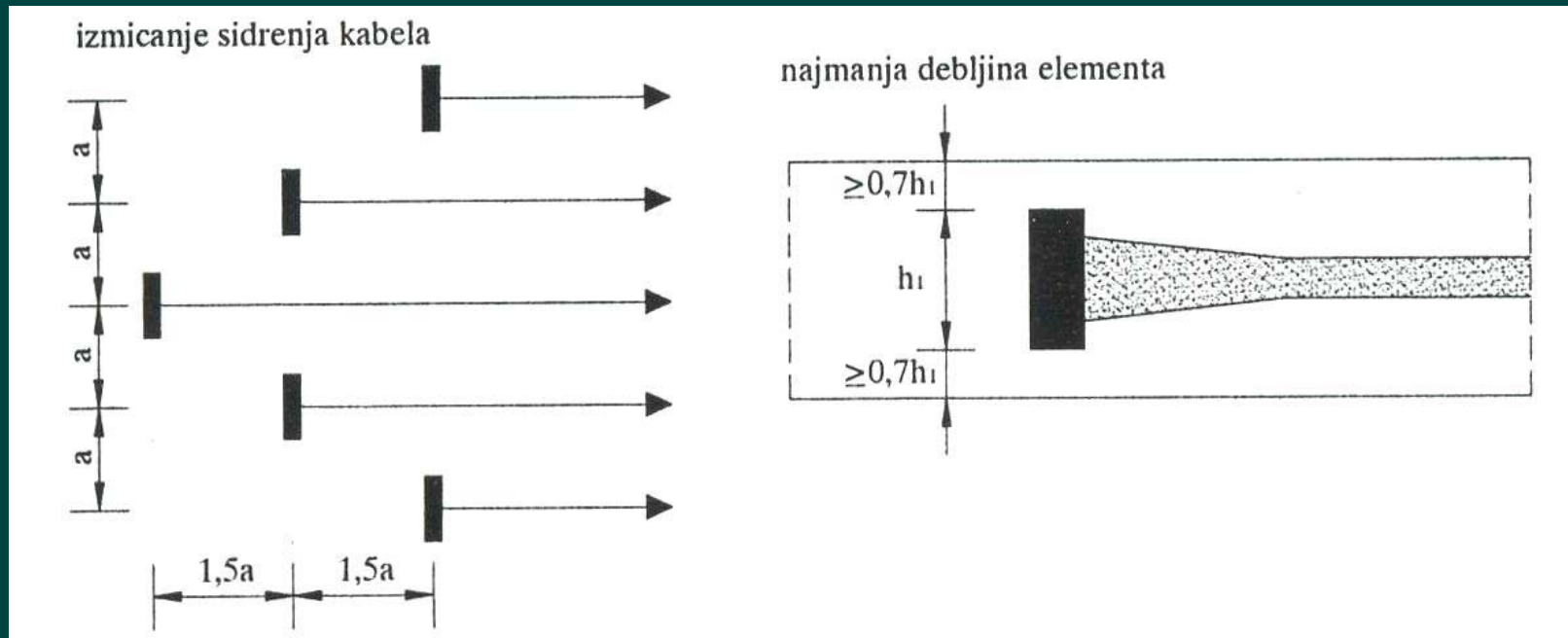
SIDRA I NASTAVCI

- ❑ Uređaji za sidrenje naknadno prednapetih kabela trebaju biti u skladu sa specifikacijama promatranog sustava prednapinjanja.
- ❑ Duljine sidrenja u slučaju prethodno napetih kabela trebaju biti takve da omoguće razvoj cjelokupne proračunske čvrstoće, uzimajući u obzir učinke koji se ponavljaju i brzo mijenjaju.



SIDRA I NASTAVCI

- Sidra natega potrebno je smjestiti u stlačena područja.
- Sidra je potrebno izmaknuti kako bi
 - stražnja sidra mogla tlačiti eventualna vlačna naprezanja nastala od sidara ispred njih.



SIDRA I NASTAVCI

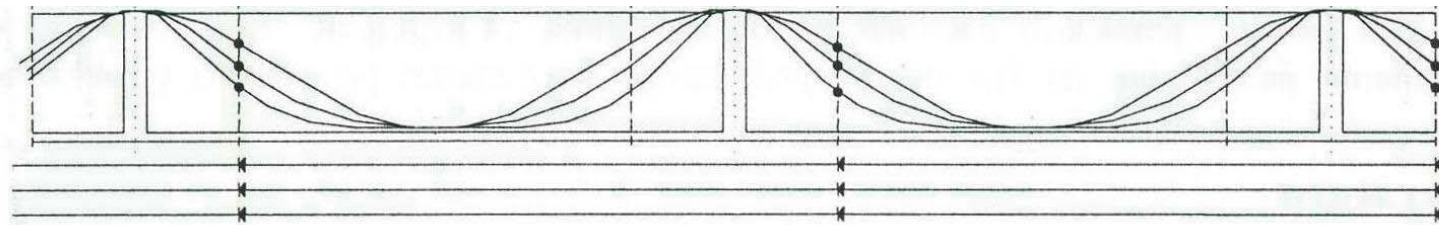
- ❑ Nastavke valja primjeniti u skladu s sustavom prednapinjanja i postaviti ih tako da ne utječu na nosivost elementa i tako da je moguće postaviti sidro koje može biti potrebno tijekom izgradnje.
- ❑ Nastavci se općenito postavljaju dalje od srednjih ležajeva.
- ❑ Valja izbjegavati postavljanje nastavaka na više od **50 %** kabela u jednom presjeku.



SIDRA I NASTAVCI

- Nastavljanje svih natega u jednome presjeku u Europi nije dozvoljeno!!!

nastavljanje natega u polju

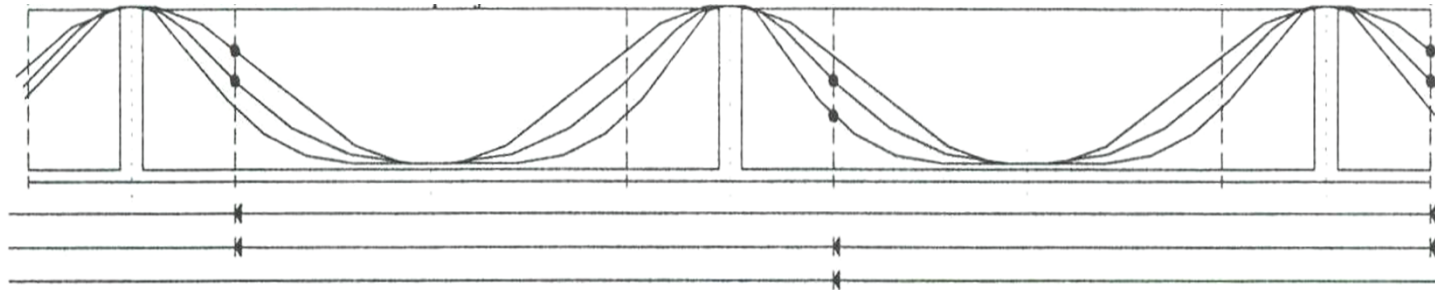


- Prednosti:
 - kratke natege
 - puna sila prednapinjanja nanešena je već u fazi izvedbe
- Nedostaci:
 - veliko razmicanje natega - dodatna skretanja natega – gubici
 - koncentrirano unošenje sile u jednome presjeku
 - jako oslabljenje presjeka sidrenim pločama spojki

SIDRA I NASTAVCI

□ Dio natega nenastavljeno prolazi kroz presjek

Kontinuirana natega kroz dva polja



□ Prednosti:

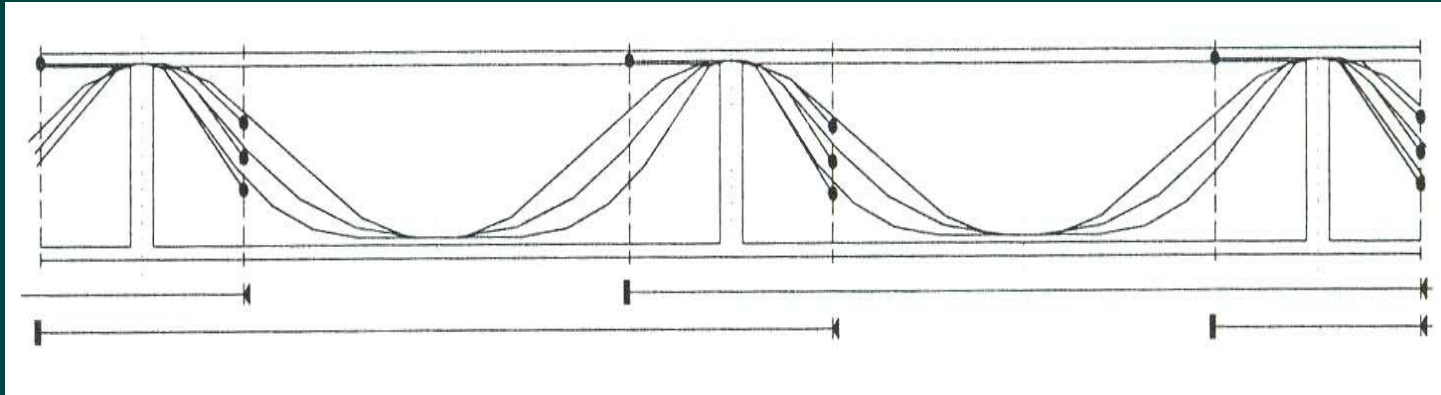
- Manje širenje natega u vertikalnom smjeru u spojnici nastavljjanja
- Manja je koncentracija sila koje se koncentrirano unose u jednom presjeku

□ Nedostaci:

- U nekim slučajevima potrebno je podebljavanja hrpta
- U fazi građenja na raspolaganju nam je samo dio sile prednapinjanja po fazama građenja

SIDRA I NASTAVCI

□ Preklapanje natega nad osloncem



□ Prednosti:

- Dvostruka količina natega nad osloncem
- Nije potrebno nastavljavanje natega
- U polju nosača djeluje puna sila prednapinjanja

□ Nedostaci:

- Neke natege mogu se injektirati tek nakon izvedbe sljedećeg odsječka

SIDRA I NASTAVCI kod mostova

- Valja izbjegavati postavljanje nastavaka na više od **50 %** kabela u jednom presjeku osim ako
 - je osigurana kontinuirana minimalna armatura za ograničenje širine pukotina

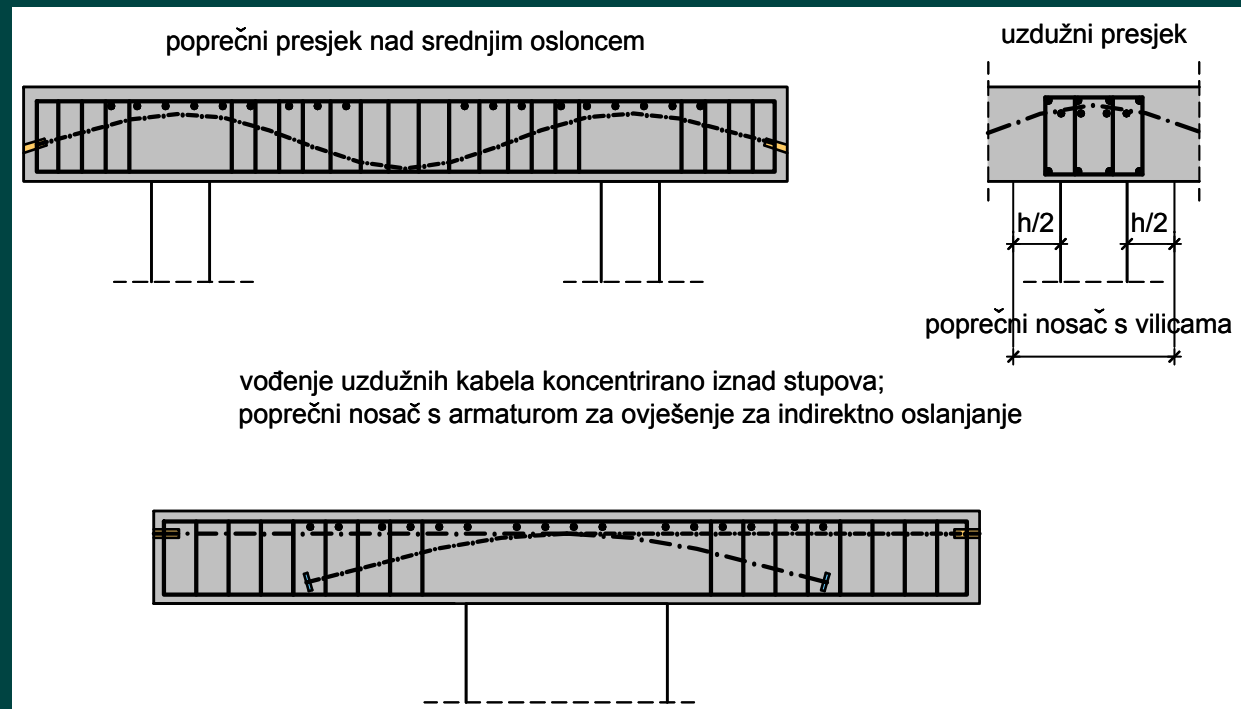
$$A_{s,min} \sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct}$$

- je u presjeku, pod karakterističnom kombinacijom djelovanja, minimalno preostalo tlačno naprezanje **3 MPa**
- Maksimalni postotak kabela koji se nastavljaju u jednom presjeku je **67%**
- Kabeli koji se u promatranom presjeku ne nastavljaju ne smiju se nastavljati na udaljenosti **a** od tog presjeka.
- Za konstruktivnu visinu h
 - $h \leq 1,5 \text{ m}$ $a = 1,5 \text{ m}$
 - $1,5 \text{ m} < h < 3,0 \text{ m}$ $a = h$
 - $h \geq 3,0 \text{ m}$ $a = 3,0 \text{ m}$

SIDRA I NASTAVCI kod mostova

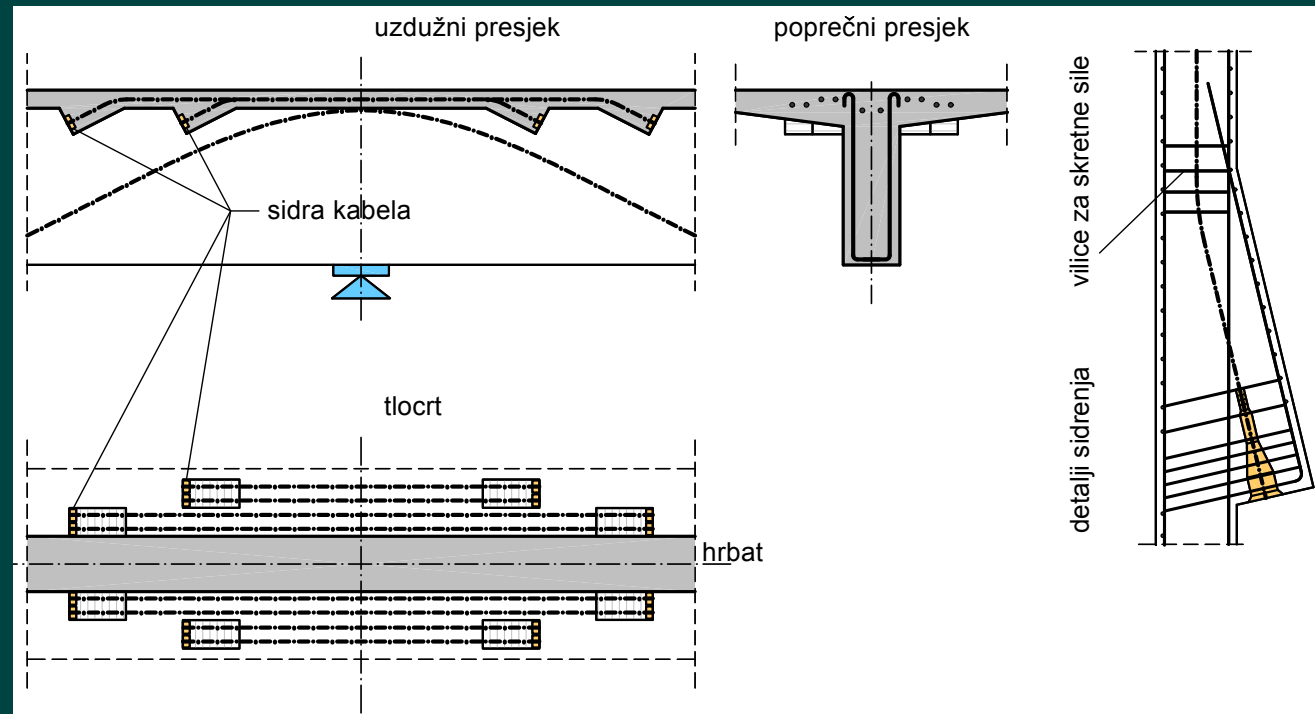
- Kod ploča koje se poprečno prednapinju, posebnu pažnju valja posvetiti rasporedu kabela kako bi se postigla razumno ujednačena raspodjela naprezanja.

- *Poprečni kabeli - ispod uzdužnih kabela*
- *linija prema dijagramu momenata savijanja i poprečnih sila*



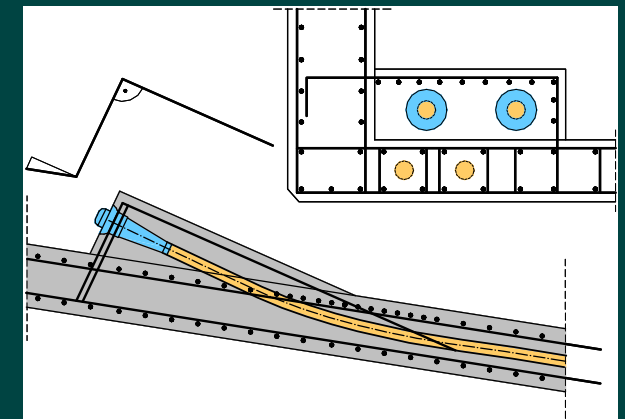
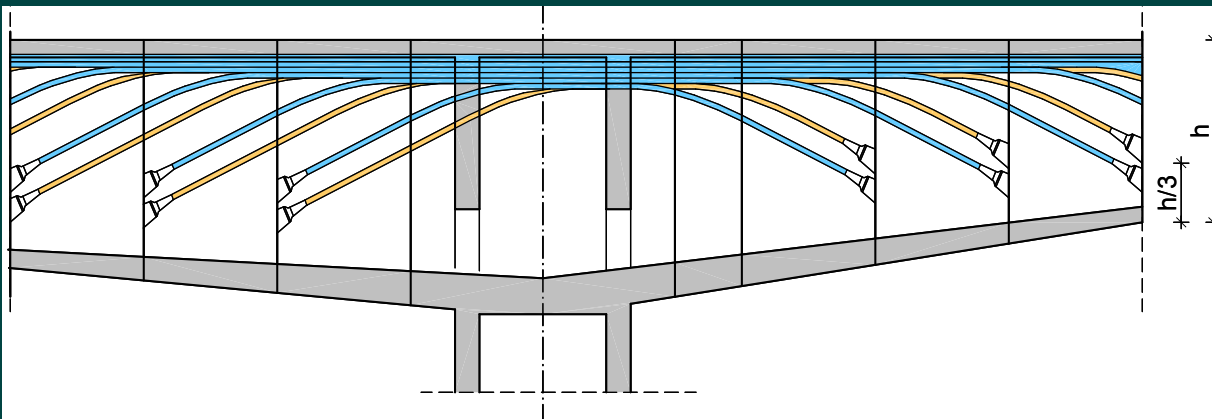
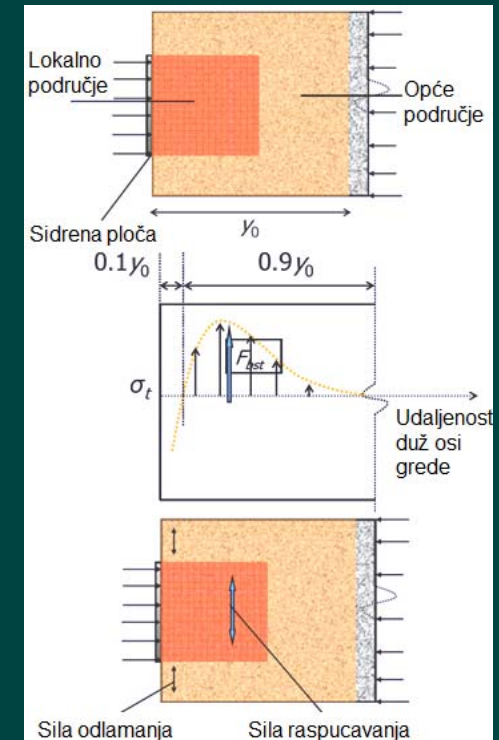
SIDRA I NASTAVCI kod mostova

- U uvjetima izloženosti agresivnom okolišu valja izbjegavati otvore i istake na gornjoj strani kolničke ploče, a koje su nužne za primjenu naprezanja na kabele.
- Prednapinjanje kontinuiranih nosača iznad srednjih oslonaca*
 - paziti na pomak dijagrama vlačnih sila
 - vilice za sile cijepanja i skretne sile



SIDRA I NASTAVCI kod mostova

- Ako su kablei sidreni na reški konstrukcije ili unutar elementa (na vanjskoj istaci ili potpuno unutar elementa) valja provjeriti da je
 - pod učestalom kombinacijom djelovanja
 - prisutno zaostalo naprezanje od svega **3 MPa**
 - u smjeru sidrenje sile prednapinjanja.
- U suprotnom valja osigurati armaturu za prihvaćanje lokalnog tlaka iza sidra.

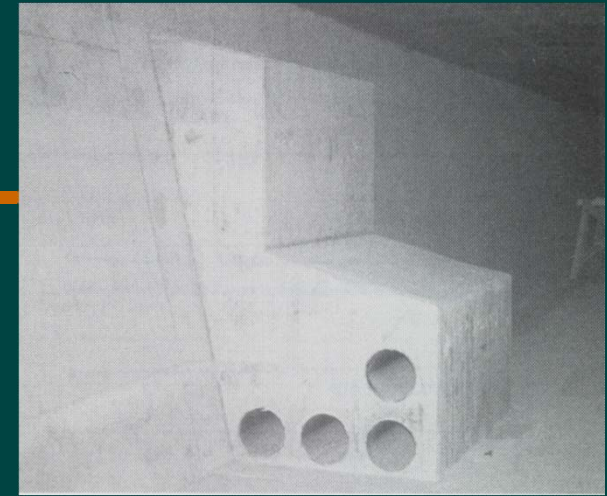


SIDRA I NASTAVCI na radnim reškama

- Reške u kojima se nastavljaju natege su slaba mjesta na konstrukciji jer:
 - kvaliteta betona u reški gdje se natege nastavljaju često je slabija od kvalitete betona u ostalim područjima
 - se javljaju temperaturne razlike između već očvrsnulog betona i "novog"
 - je prisutan nelinearni raspored deformacija
 - puzanje prednapetog betona uzrokuje preraspodjelu naprezanja
 - gubitak sile prednapinjanja uzrokuje smanjenje sile prednapinjanja u radnoj reški
 - povećani gubitci od puzanja i skupljanja uvjetovani visokom krutošću spojke na izduženje
- ograničen je broj nastavaka natega (spojki) u jednome presjeku
 - potrebno je izbjegavati više od 70% spojki u jednome presjeku (DIN 1045-1)
 - najmanje 30% svih natega u jednome presjeku voditi bez nastavljajanja
 - više od 50% spojki natega u jednome presjeku – samo ako postoji kontinuirana najmanja armatura

DEVIJATORI (SKRETNICI)

- Devijator treba zadovoljiti sljedeće:
 - izdržati i uzdužne i poprečne sile koje se s kabela na njega prenose i prenijeti te sile na konstrukciju,
 - osigurati da radijus zakrivljenosti prednapetog kabela ne izaziva prekoračenje naprezanja ili oštećenja devijatora.
- U zonama skretnika, cijevi moraju biti u stanju
 - prihvatiti radijalni pritisak i uzdužne pomake kabela,
 - bez oštećenja i ugržavanja njegove funkcije.
- Proračunska skretanja kabela do kuta od 0,01 radijan dopuštena su i bez primjene devijatora.



VANJSKE NATEGE

- Najveće prednosti vanjskih natega su:
 - bolja korozivna zaštita,
 - mogućnost dotezanja,
 - izmjene natega i kontrola.
- Sidrena i skretna mjesta vanjskih natega moraju se izvesti
 - na način da omogućavaju izmjenu natega bez oštećivanja ostalih elemenata konstrukcije.
- Poprečne vibracije vanjskih natega
 - od korisnog opterećenja, vjetra ili drugih utjecaja
 - moraju se onemogućiti odgovarajućim rješenjima (ovisi o proizvođaču).
- Najmanji radijusi zakrivljenosti vanjskih natega su:
 - užad promjera 13 mm: 1,70 m
 - užad promjera 15 mm: 2,50 m

VANJSKE NATEGE - dodatna pravila za mostove

- Sila prednapinjanja vanjske natege
 - ne treba prekoračiti **3 MN**.
- Ukupna duljina vanjske natege između sidara
 - ne smije biti duža od **200 m**.
- Potrebno je posvetiti veliku pažnju
 - ugradnji sidara, skretnika i otvora.
 - Kod izvedbe vrši se visinska provjera i provjera položaja.
 - Vodi se protokol odstupanja izmjerenih vrijednosti i projektom predviđenih.

VANJSKE NATEGE - dodatna pravila za mostove

- Svijetli razmak paralelnih vanjskih natega ili natega do susjednih konstruktivnih elemenata
 - iznosi najmanje **8 cm** zbog mogućnosti kontrole.
- Kako bi se izbjeglo titranje natega potrebno ih je pričvrstiti
 - na najvećem razmaku do **35 m**.
 - Skretna i sidrena mjesta vrijede kao pričvršćenja u smislu titranja natega.
 - Na ostalim potrebnim mjestima za pričvršćenje rješenja su slična pridržanju cijevi odvodnje ili sl.
- Kod mješovite gradnje (vanjske natege i natege unutar presjeka)
 - udio vanjskih natega u konačnoj sili prednapinjanja u svakom presjeku treba iznositi najmanje **20 %** ukupne sile prednapinjanja.

GRANIČNO STANJE UPORABE

- Preporučene granične vrijednosti širine pukotina

Razred izloženosti	Armiranobetonske konstrukcije i prednapete konstrukcije s mortom neinjektiranim kabelima	Prednapete konstrukcije s mortom injektiranim kabelima	
	Nazovistalna kombinacija djelovanja	Česta kombinacija djelovanja	
X0	0,4 mm	0,2 mm	
XC1			
XC2	0,3 mm	0,2 mm + kontrola rastlačenja pri nazovistalnoj kombinaciji djelovanja	kabel minimalno 25 mm unutar betona u tlaku
XC3			
XC4			
XD1			
XD2			
XD3	zahtijevaju se posebne mjere zaštite		
XS1	0,3 mm	kontrola rastlačenja	kabel minimalno 25 mm unutar betona u tlaku
XS2			
XS2			

GRANIČNO STANJE UPORABE

- **DIN-Fachbericht 102: Betonski mostovi**
- Za udovoljenje različitim zahtjevima u pogledu trajnosti i kakvoće
 - mostovi su podijeljeni u razrede A-E i
 - moraju zadovoljiti uvjete za ograničenje širine pukotina i dekompresije:

Razred	Kombinacija djelovanja za dokaz		računska vrijednost širine pukotine w_k [mm]
	dekompresije ($\sigma_c \leq 0$)	širine pukotina	
A	rijetka	-	0,2
B	učestala	rijetka	
C	kvazi-stalna	učestala	
D		učestala	
E		kvazi-stalna	0,3

GRANIČNO STANJE UPORABE

- **DIN-Fachbericht 102: Betonski mostovi**
- Konstruktivnom elementu moraju biti
 - dodjeljeni razredi agresivnog djelovanja okoliša
 - pa se određuje najmanji razred za određivanje širine pukotina i dekompresije:

	najmanji razred širine pukotina i dekompresije			
	način prednapinjanja			
razred agresivnog djelovanja okoliša	prednapinjanje sa sprezanjem ostvarenim naknadnim injektiranjem	prethodno prednapinjanje	prednapinjanje bez sprezanja ostvarena injektiranjem	AB elementi
XC1	D	D	F	F
XC2, XC3, XC4	C ^a	C	E	E
XD1, XD2, XD3, ^b XS1, XS2, XS3	C ^a	B	E	E
^a ukoliko je zaštita od korozije osigurana drugim mjerama dozvoljen je razred D				
^b u pojedinim slučajevima postoji mogućnost da su potrebne posebne mjere za zaštitu od korozije				

GRANIČNO STANJE UPORABE

□ DIN-Fachbericht 102: Betonski mostovi

□ Zadovoljavanje graničnog stanja dekompresije znači da je

- betonski presjek, za mjerodavnu kombinaciju opterećenja
 - u fazi građenja, na rubu,
 - a u konačnom stanju u potpunosti
- u tlaku od prednapete sile vlačnog područja.

□ Konstrukcija se svrstava u razred prema razini prednapinjanja:

■ Puno prednapinjanje:

(vlačno naprezanje = 0, $k=1,0$)



razred A i B

■ Ograničeno prednapinjanje:

(vlačno naprezanje < graničnog, $k<1,0$)



razred B i C

■ Djelomično prednapinjanje:

($a_k < a_g$ (širine pukotina); $k = 0,4 - 0,7$)



razred C, D i E

GRANIČNO STANJE UPORABE

- **DIN-Fachbericht 102: Betonski mostovi**
- Kada se most prednapinje uzdužno, a ne i poprečno, dimenzije poprečnog presjeka određuju se tako da su:
 - na njegovom rubu,
 - za rijetku kombinaciju djelovanja
 - u naponskom stanju I
- vlačna naprezanja betona manja od:

razred	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
dop $\sigma_{c,rub}$	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5

GRANIČNO STANJE UPORABE

■ rastlačenje i ograničenje širina pukotina

□ Prema dodatku nHRN EN 1992-2:2013/NA:2013

XC4

XD1

Za XS1 nema preporuke u dodatku ali kako se za razrede XD1 i XS1 bira jednaki minimalni zaštitni sloj za AB i PB onda možemo zaključiti da S1 spada u istu razinu provjera

2.22 Ograničenje proračunske širine pukotina, definicija rastlačenja (dekompresije) i primjena, točka 7.3.1(105), NAPOMENE

Preporučene vrijednosti za w_{max} i odgovarajuća pravila za kombinacije dani su u tablici 7.101(N)(HR).

Tablica 7.101(N)(HR) – Preporučene vrijednosti za w_{max} i odgovarajuća pravila za kombinacije

Br. retka	Razred izloženosti	Konstrukcijski elementi od armiranoga betona i konstrukcijski elementi od prednapetoga betona s nespregnutim nategama		Konstrukcijski elementi od prednapetoga betona s naknadnim prednapinjanjem		Konstrukcijski elementi od prednapetoga betona s prethodnim prednapinjanjem ^a	
		w_{max}	Dokaz rastlačenja	w_{max}	Dokaz rastlačenja	w_{max}	Dokaz rastlačenja
		mm		mm		mm	
1	XC1 ^b	0,3 za nazovistalne kombinacije djelovanja ^c	nije potreban	0,2 za česte kombinacije djelovanja ^c	za nazovistalne kombinacije djelovanja ^c	0,2 za česte kombinacije djelovanja ^c	za nazovistalne kombinacije djelovanja ^c
2	XC2, XC3 ^d , XC4 ^e , XD1, XF1, XF2, XF3	0,3 za nazovistalne kombinacije djelovanja ^c		0,2 za česte kombinacije djelovanja ^c	za nazovistalne kombinacije djelovanja ^c	0,2 za karakteristične kombinacije djelovanja ^c	za česte kombinacije djelovanja ^c
3	XA1, XA2, XD2	0,3 za nazovistalne kombinacije djelovanja ^c		0,2 za karakteristične kombinacije djelovanja ^c	za česte kombinacije djelovanja ^c	0,2 za karakteristične kombinacije djelovanja ^c	za česte kombinacije djelovanja ^c
4	XA3, XD3, XF4	0,3 za česte kombinacije djelovanja ^c		0,2 za karakteristične kombinacije djelovanja ^c	za česte kombinacije djelovanja ^c	–	0,2 za karakteristične kombinacije djelovanja ^c

NAPOMENE:

1. redak ne vrijedi za mostove i slične nosive konstrukcije izložene atmosferskim utjecajima.

2. redak vrijedi za uobičajene mostove s izolacijom i zastorom ili dijelove mostova u području utjecaja izmaglice.

3. redak vrijedi za posebne slučajeve.

4. redak vrijedi za površinu mosta bez izolacije i zastora po kojoj se izravno vozi, rubne grede i dijelove mostova (npr. stupovi i upornjaci) u blizini kolnika do visine 5 m (područje prskanja).

^a Nije dopušteno za željezničke mostove.

^b Za razred izloženosti XC1 širina pukotina nema utjecaja na trajnost. Navedene granične vrijednosti širine pukotina imaju za cilj osiguranje prihvatljiva izgleda.

^c Karakteristična, česta i nazovistalna kombinacija djelovanja definirane su u normi HRN EN 1990:2011.

^d Kod zahtjeva za nepropusnost građevine treba ostvariti smanjene širine pukotina.

MINIMALNA KONSTRUKTIVNA ARMATURA

- ...ovisno o području prednapetog konstruktivnog elementa:
 - Najmanje vrijednosti konstrukcijske armature prema formulama za najveću i najmanju arm, za ograničavanje širine pukotina i za prednapete elemente ne zbrajaju se – mjerodavna je veća vrijednost!

	ploče, pojasne lamele i široke grede ($b_w > h$) po m'		grede sa $b_w \leq h$, hrptovi T- i sandučastih nosača	
	konstruktivni elementi u razredu agresivnog djelovanja okoliša XC1 do XC4	konstruktivni elementi u ostalim razredima agresivnog djelovanja okoliša	konstruktivni elementi u razredu agresivnog djelovanja okoliša XC1 do XC4	konstruktivni elementi u ostalim razredima agresivnog djelovanja okoliša
- bočne plohe greda - ploče sa $h \geq 1,0$ m na svakom rubu ^a (oslonjeni i slobodni)	$0,5 \cdot \rho \cdot h$ odnosno $0,5 \cdot \rho \cdot h_f$	$1,0 \cdot \rho \cdot h$ odnosno $1,0 \cdot \rho \cdot h_f$	$1,0 \cdot \rho \cdot b_w$ po m'	$1,0 \cdot \rho \cdot b_w$ po m'
- vanjski rub ^b tlačnih zona greda i ploča - u stlačenoj vlačnoj zoni ploča ^{a,b}	$0,5 \cdot \rho \cdot h$ odnosno $0,5 \cdot \rho \cdot h_f$	$1,0 \cdot \rho \cdot h$ odnosno $1,0 \cdot \rho \cdot h_f$	---	$1,0 \cdot \rho \cdot h \cdot b_w$
- tlačni pojas nosača sa $h > 12$ cm (gornja i donja zona, u svaku) ^a	---	$1,0 \cdot \rho \cdot h_f$	---	---
gdje je: h - visina grede ili debljina ploče; h_f - debljina tlačnog ili vlačnog pojasa ploče razgranatog presjeka b_w - debljina hrpta grede ρ - osnovna vrijednost koeficijenta armiranja				
^a Nije potrebna veća armatura od $3,4 \text{ cm}^2/\text{m}'$ u svakome smjeru. ^b U konstruktivnim elementima u razredu agresivnog djelovanja okoliša XC1 dozvoljeno je izostaviti armaturu predviđenu prema ovoj tablici za klase XC1 DO XC4. Za ploče od predgotovljenih elemenata manje širine od 1,20 m dozvoljeno je izostaviti poprečnu armaturu predviđenu prema ovoj tablici u svim navedenim slučajevima.				

MINIMALNA KONSTRUKTIVNA ARMATURA

□ Vrijednosti
koeficijenta armiranja

□ $\rho = 0,16 f_{ctm} / f_{yk}$

- Konstrukcijska armatura ugrađuje se kao približno ortogonalna mreža u vlačno i tlačno područje elementa
- Najveći razmak šipki armature je 200 mm

f_{ck} (N/mm ²)	ρ (‰)
12	0,51
16	0,61
20	0,70
25	0,83
30	0,93
35	1,02
40	1,12
45	1,21
50	1,31
55	1,34
60	1,41
70	1,47
80	1,54
90	1,60
100	1,66

PREDNAPETI BETON



– Sljedeće predavanje –

**KONZOLNE GREDE, KONTINUIRANE I
DJELOMIČNO KONTINUIRANE GREDE**