

# Prethodno napregnute konstrukcije

Predavanje VIII  
2019/2020

Prof. dr Radmila Sindić-Grebović

# **Unošenje sile prethodnog naprezanja**

**Zona ankerovanja kablova**

U prethodno napregnutim elementima se sila prethodnog naprezanja prenosi sa čelika na beton na dva različita načina.

Kod elemenata sa prethodnim zatezanjem kablova transfer sile se odvija preko neposredne veze između betona i čelika.

Kod naknadno zategnutih elemenata sila iz kabla na beton se prenosi preko podložne ploče neposrednim oslanjanjem.

U oba slučaja se sila prethodnog naprezanja unosi na relativno malom rastojanju i izaziva velike lokalne napone.

U zoni ankerovanja javlja se kompleksno naponsko stanje.

Zatezanje koje se javlja poprečno u odnosu na trajektorije napona pritiska može dovesti do pojave prslina u zoni ankerovanja, pa je za prihvatanje ovog zatezanja potrebna posebna armatura.

# Ankerovanje kablova koji se prethodno zatežu

Kod elemenata kod kojih se kablovi prethodno zatežu sila prethodnog napreznja se prenosi bez ankernih elemenata na kraju nosača, direktnim kontaktom betona i čeličnog kabla.

## Prethodno napregnuti željeznički pragovi



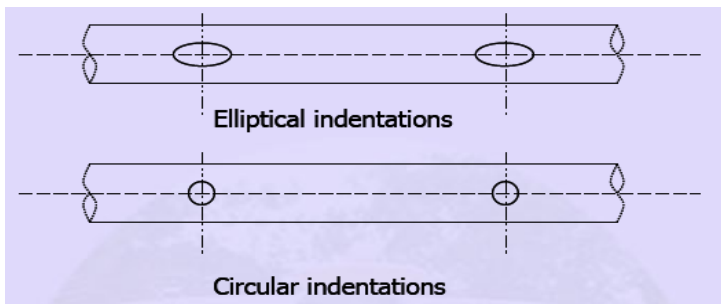
## Postoje tri mehanizma prenosa sile:

1. Adhezija između betona i čelika
2. Mehanička veza površina čelika i betona
3. Trenje u prisustvu poprečnog pritiska

Mehanička veza čelika i betona je dominantan mehanizam u slučaju primjene:

- žica sa udubljenjima,
- uvijenih užadi i
- rebrastih šipki.

Primjeri udubljenih žica



Twisted strand

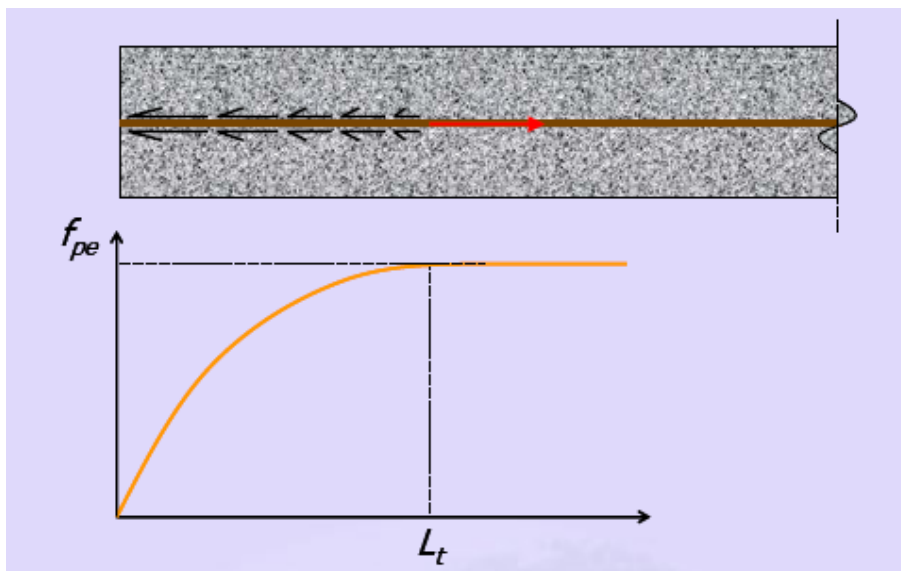


Deformed bar

Type	Size (Diameter)		Shape
	mm	in.	
Plain round wire	2.0 - 9.0	0.06 - 0.360	
Indented wire	5.0 - 7.0	0.200 - 0.276	
Sumrl - Twist	7.3 - 13.0	0.276 - 0.512	
Two-wire strand	2.9 x 2	0.114 x 2	
Seven-wire strand	6.2 - 15.2	0.250 - 0.600	
Nineteen-wire strand	17.8 - 21.8	0.700 - 0.860	
Round bar	9.2 - 32.0	0.362 - 1.260	
Threaded bar (Dyjwidag)	23.0 - 32.0	0.906 - 1.280	

Sila prethodnog naprezanja se sa kabla na beton prenosi na dužini  $L_t$  – koja predstavlja dužinu prenosa sile (transfera).

Napon u kablju na kraju nosača je jednak 0, a po dužini transfera raste do konstantne vrijednosti  $f_{pe}$ .



**Promjena napona u kablju po dužini transfera**

## Hoyer-ov efekt

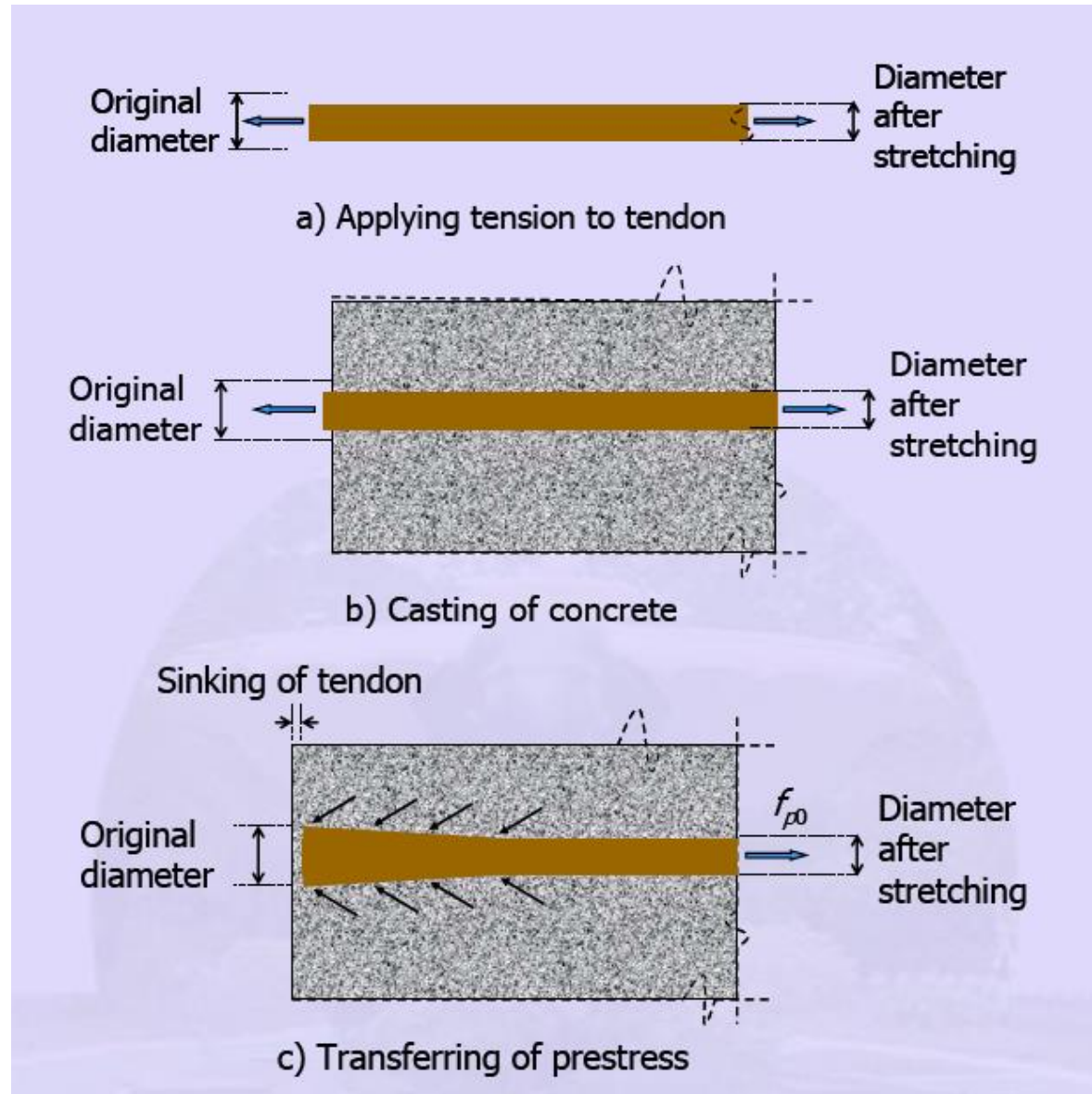
Nakon zatezanja kabla smanjuje se prečnik kabla zbog Poisson-ovog efekta.

Otpuštanjem kabla nakon očvršćavanja betona kraj kabla se “utapa” u beton.

**Napon na kraju kabla je 0.**

Na kraju kabla prečnik se ponovo vraća na prvobitnu dimenziju, dok na krajnjoj tački dužine transfera prečnik ostaje redukovan.

Promjena prečnika duž kabla stvara efekat klina koji pomaže prenosu sile iz kabla na beton.



## Dužina prenosa sile zavisi od sljedećih faktora:

### 1. Vrste kabla

- žice, užad ili šipke

### 2. Veličine kabla

### 3. Napona u kablju

### 4. Oblika deformacija na kablovima

- ravni, udubljeni, uvijeni ili rebrasti

### 5. Čvrstoće betona pri prenosu

### 6. Brzine prekidanja kablova

- naglo prekidanje ili lagano otpuštanje iz prese

### 7. Prisustva utežujuće armature

### 8. Efekta tečenja

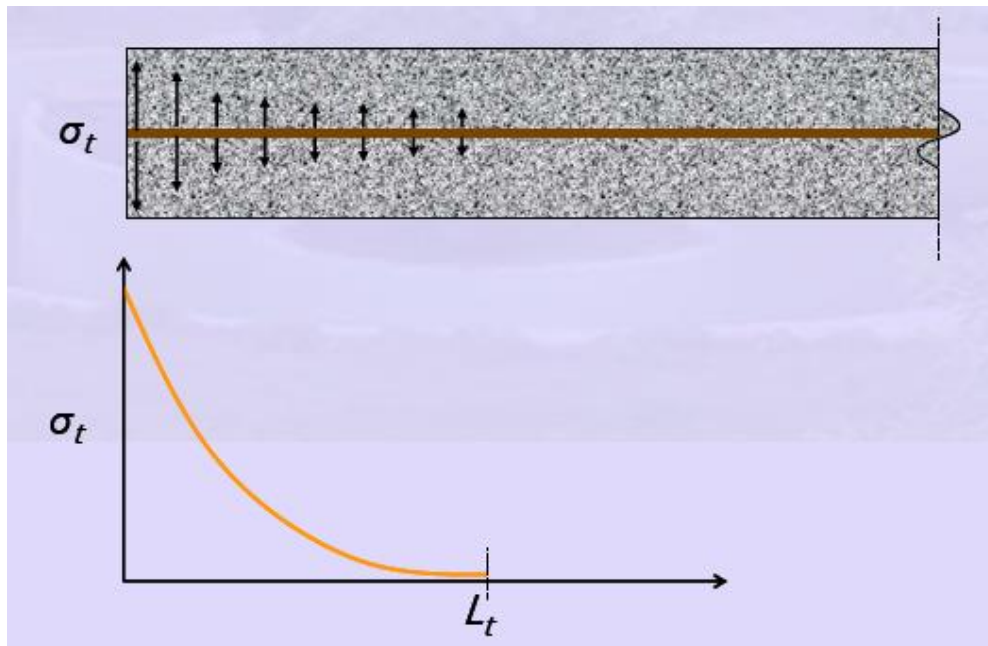
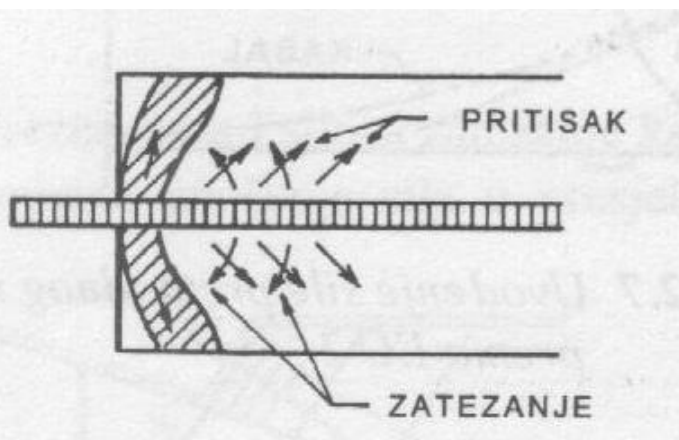
### 9. Kompaktnosti betona

### 10. Debljine zaštitnog sloja



Prethodno naprezanje i Hoyer-ov efekt proizvode poprečne napone  $\sigma_t$ .

Raspodjela napona je prikazana na skici.



Ovi naponi su najveći na dužini transfera sile.

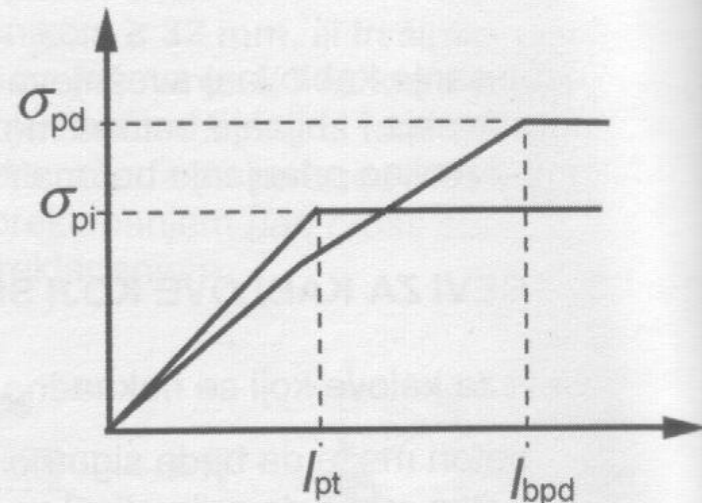
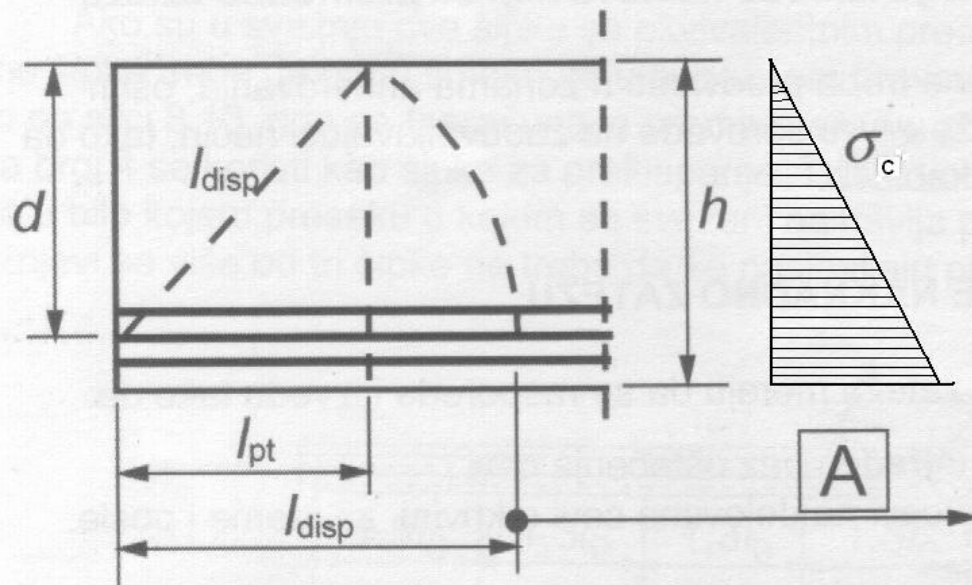
U cilju ograničavanja pojave cijepanja betona na dužini transfera potrebno je da se postavi poprečna armatura.

Ova armatura se dodaje armaturi koja je potrebna za osiguranje od smicanja.

# Proračun zone ankerovanja prema EN 1992-1-1: 2004

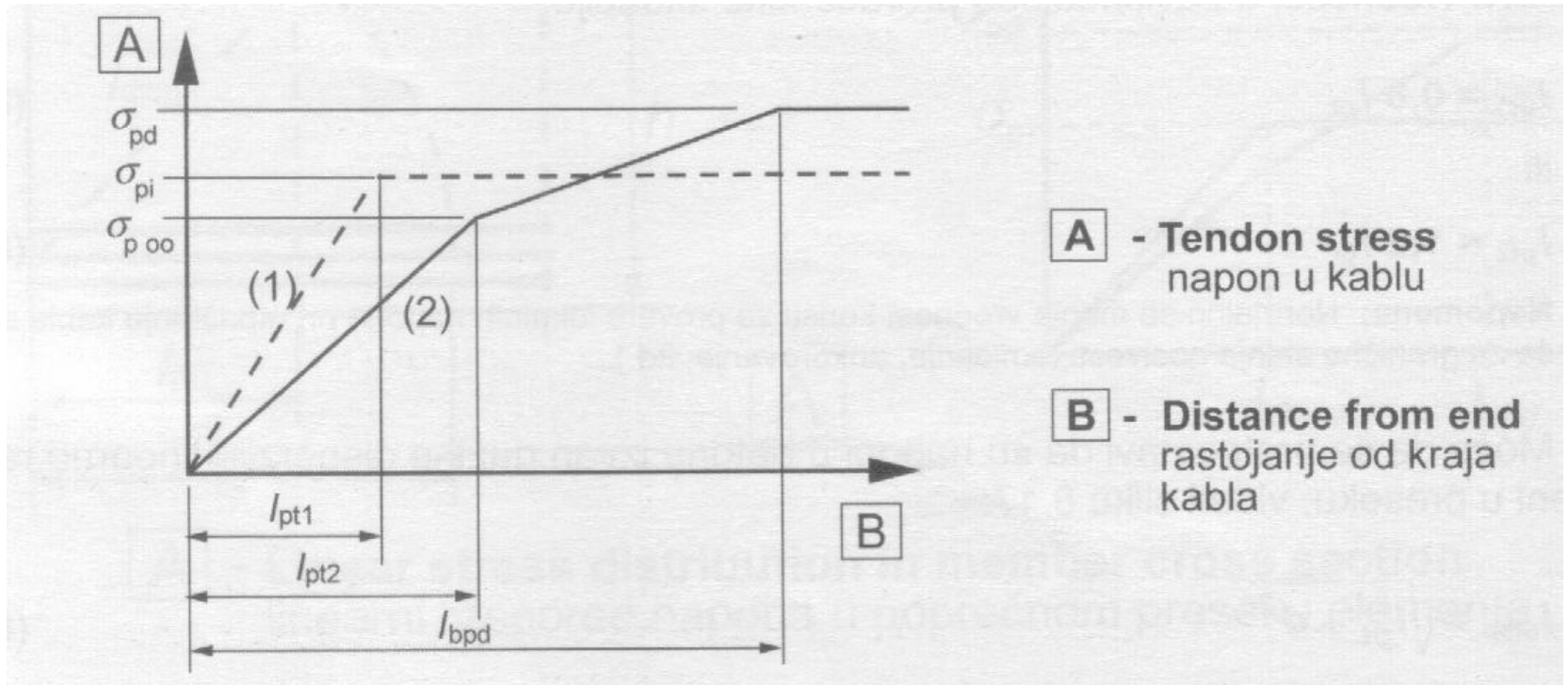
## Karakteristične dužine u zoni prenošenja sile

- **Dužina prenošenja sile**  $l_{pt}$  na kojoj se ukupna sila prethodnog naprezanja ( $P_0 = A_p \sigma_{pm0}$ ) prenosi na beton.
- **Disperziona dužina**  $l_{disp}$  na kojoj naponi u betonu postaju **linearno raspoređeni** po betonskom presjeku.
- **Dužina ankerovanja**  $l_{bpd}$  na kojoj se sila u kablju  $F_{pd} = A_p \cdot \sigma_{pd}$  u graničnom stanju nosivosti, potpuno ankeruje u beton



**A** - Linear stress distribution in member cross section  
linearni raspored napona u poprečnom preseku elementa

## Naponi u kablju u zoni ankerovanja sa prethodno zategnutim kablovima



(1) Pri otpuštanju kablova

(2) Pri graničnom stanju nosivosti

## Prenošenje sile prethodnog naprezanja

Može se pretpostaviti da se sila prethodnog naprezanja pri otpuštanju kablova prenosi na beton **konstantnim naponom priranja** betona i čelika  $f_{bpt}$  koji je dat izrazom:

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

gdje je:

$\eta_{p1}$  koeficijent kojim se uzima u obzir vrsta kabla i uslovi priranja

$\eta_{p1}=2.7$  za žice sa udubljenjima (indented);

$\eta_{p1}=3.2$  za užad od 3 ili 7 žica

$\eta_1$  =1.0 za dobre uslove priranja;

=0.7 u ostalim slučajevima

$f_{ctd}(t)$  proračunska vrijednost čvrstoće betona pri zatezanju u trenutku otpuštanja kablova  $f_{ctd}(t) = \alpha_{ct} \times 0,7 \times f_{ctm}(t) / \gamma_c$

# Osnovna vrijednost dužine prenošenja sile $l_{pt}$

Data je izrazom:

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

gdje je:

$\alpha_1$  =1.0 za postepeno otpuštanje kablova;

=1.25 za naglo otpuštanje kablova

$\alpha_2$  =0.25 za kablove sa kružnim poprečnim presjekom;

=0.19 za užad od 3 i 7 žica

$\phi$  nominalni prečnik kabla

$\sigma_{pm0}$  napon u kابلu neposredno posle otpuštanja

## Proračunska vrijednost dužine prenošenja sile

Usvaja se nepovoljnija od sljedeće dvije vrijednosti, zavisno od proračunske situacije:

$$l_{pt1} = 0.8l_{pt}$$

ili

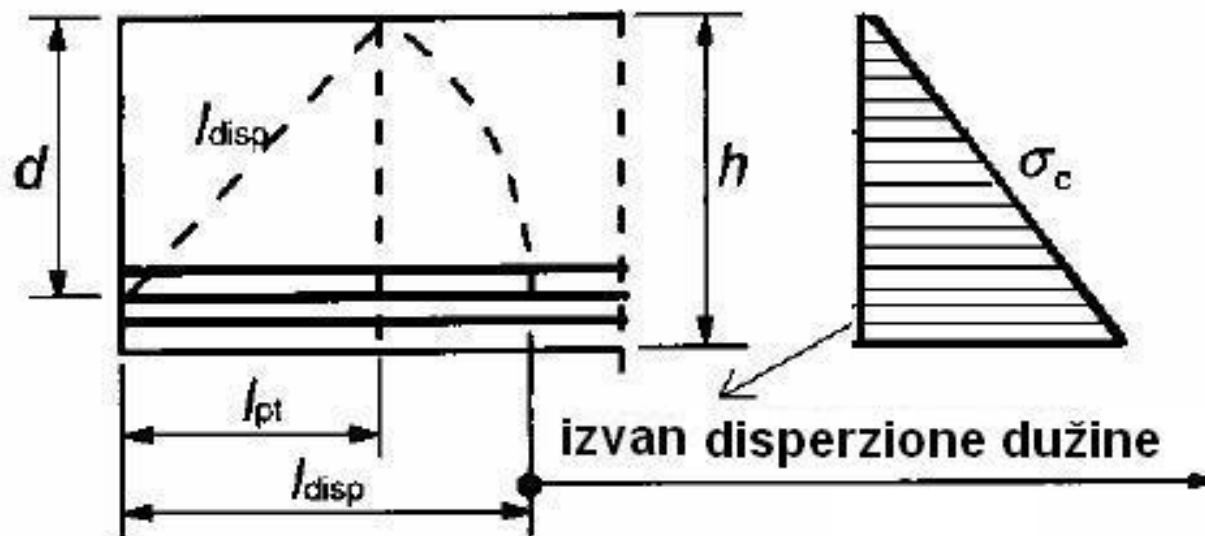
$$l_{pt2} = 1.2l_{pt}$$

## Disperziona dužina $l_{disp}$

Pretpostavlja se da su naponi u betonu izvan disperziona dužine linearno raspoređeni u presjeku.

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

$l_{pt}$  je dužina prenošenja sile



## Ankerovanje kablova u graničnom stanju nosivosti

Ankerovanje kablova treba provjeriti u slučaju kada napon zatezanja u betonu prekoračuje  $f_{ctk,0.05}$ .

Sila u kablju se proračunava za presjek sa prslinom, uzimajući u obzir i uticaj smicanja.

Čvrstoća prijanjanja betona i armature za ankerovanje u graničnom stanju nosivosti je data izrazom:

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

gdje je:

$\eta_{p2}$  koeficijent kojim se uzima u obzir vrsta kablova i uslovi prijanjanja  
 $\eta_{p2}=1.4$  za žice sa udubljenjima;  $\eta_{p2}=1.2$  za užad od 3 ili 7 žica

$\eta_1$  kako je prethodno definisan, u izrazu za  $f_{bpt}$ .

Zbog porasta krtosti betona sa povećanjem čvrstoće,  $f_{ctk,0.05}$  se ograničava na vrijednost koja odgovara betonu klase C60/75.

Ukupna dužina ankerovanja za kabl u kome je napon  $\sigma_{pd}$  je:

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

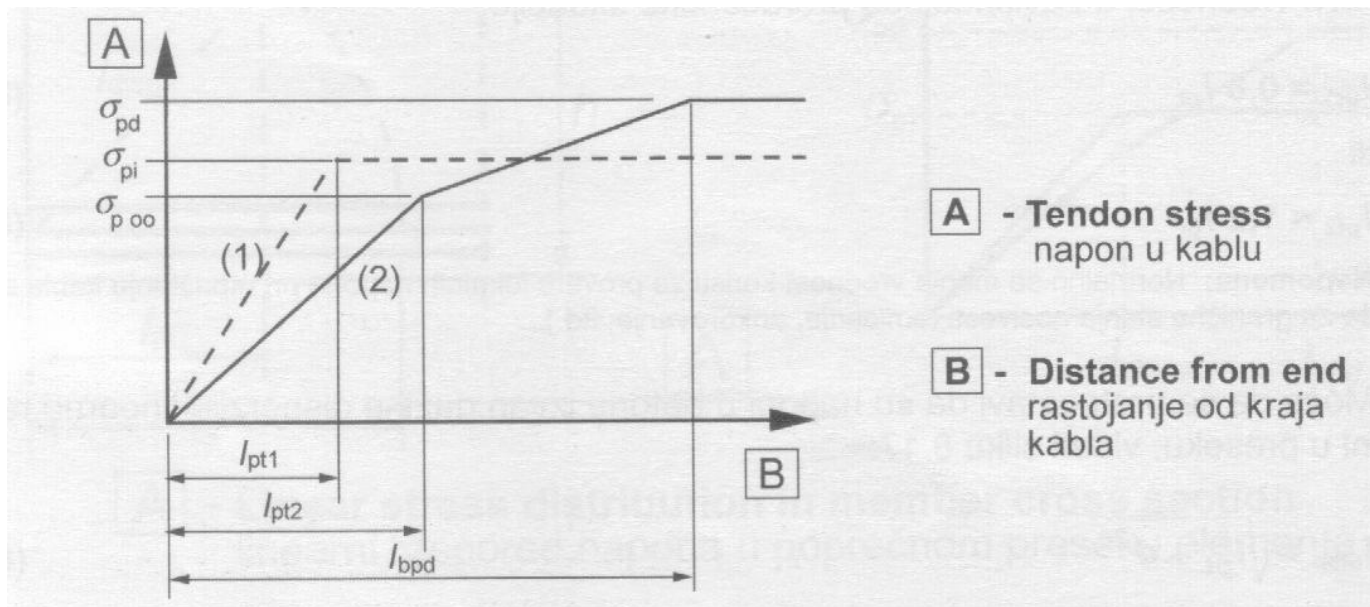
gdje je:

$l_{pt2}$  gornja proračunska vrijednost dužine prenošenja sile

$\alpha_2$  koeficijent koji je prethodno definisan

$\sigma_{pd}$  napon u kabl u koji odgovara sili proračunatoj za presjek sa prslinom

$\sigma_{pm\infty}$  napon zatezanja u kabl u poslije svih gubitaka

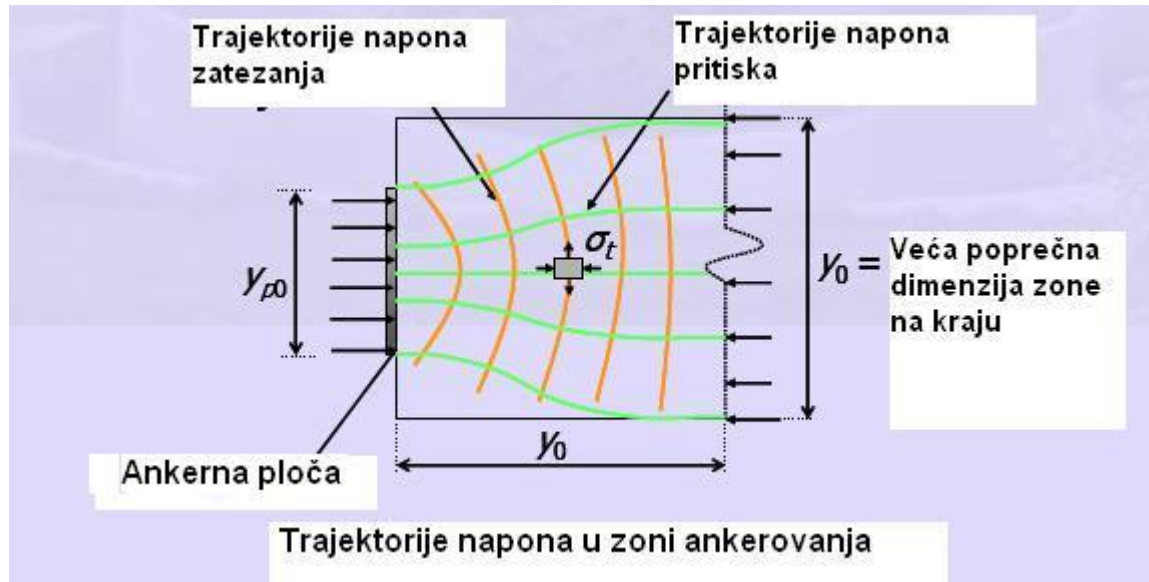




# Elementi napregnuti naknadnim zatezanjem

Unošenje sile prethodnog naprezanja naknadnim zatezanjem kablova izaziva velika naprezanja neposredno ispod ankerne ploče.

**Pored napona pritiska javljaju se i poprečni naponi zatezanja**

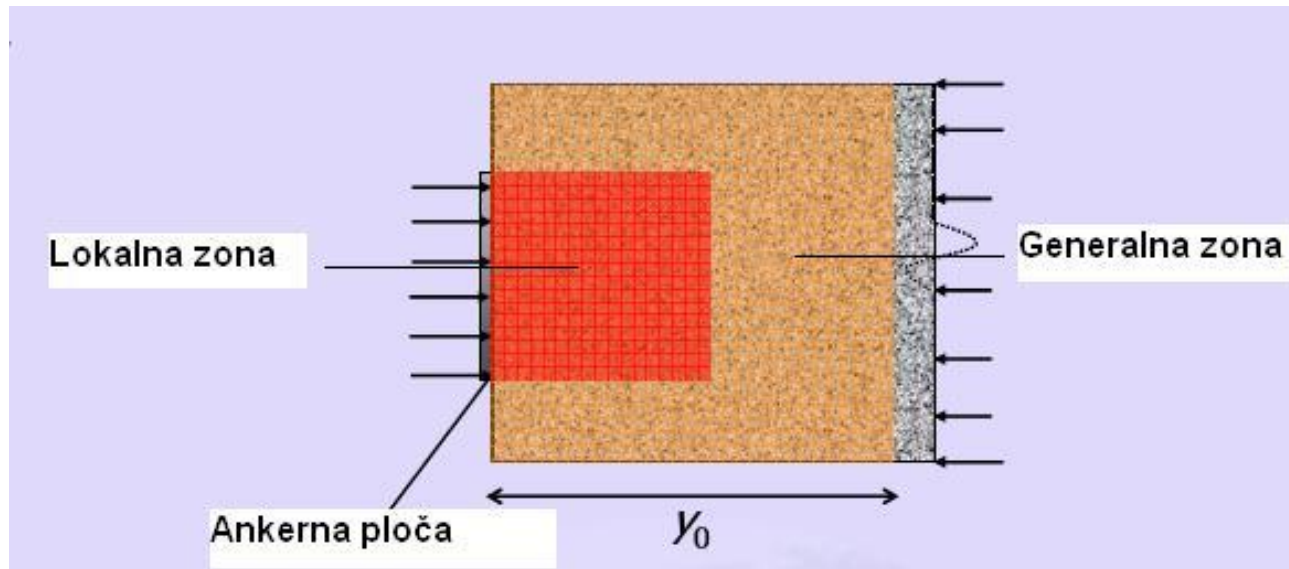


**Trajektorije napona pritiska nijesu paralelne u zoni ankerovanja.**

**Može se usvojiti da postaju paralelne na rastojanju  $y_0$  od kraja, pri čemu je  $y_0$  veća od dvije poprečne dimenzije zone na kraju elementa.**

Za analizu napona u zoni ankerovanja, kad se sila prethodnog naprezanja prenosi preko ankerne ploče, karakteristične su dvije zone:

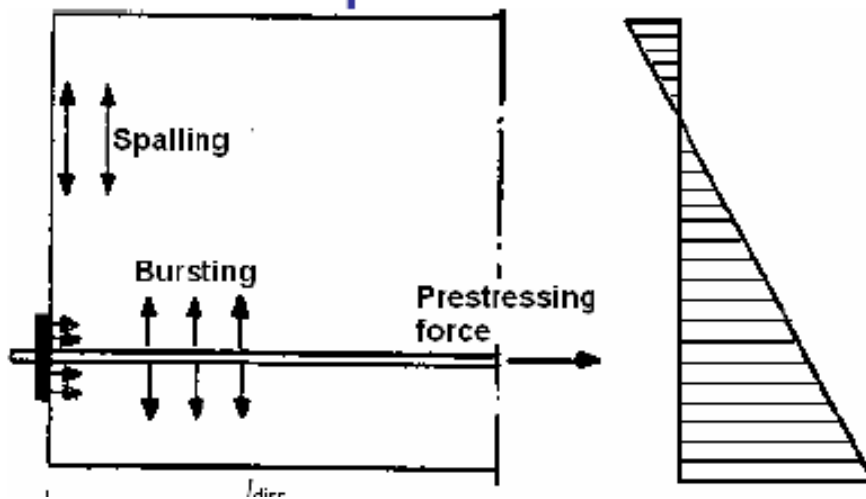
- 1) Lokalna zona (neposredno ispod ankerne ploče)
- 2) Generalna zona (oko lokalne zone)



U lokalnoj zoni javljaju se veliki ležišni i unutrašnji naponi.

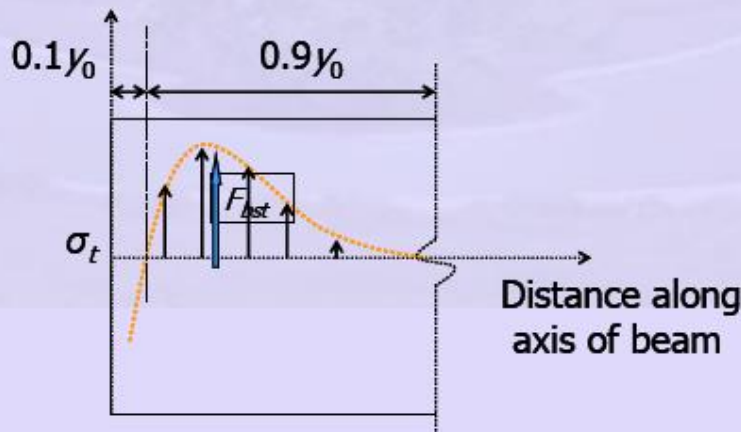
U lokalnoj zoni indukuju se tzv. naponi “pucanja” (bursting), dok se u generalnoj zoni javljaju naponi ljuštenja (spalling).

## Karakteristični naponi u ankernoj zoni



U ankernoj zoni, u kojoj se koncentrisana sila sa podložne ploče širi na cio poprečni presjek, karakteristični su:

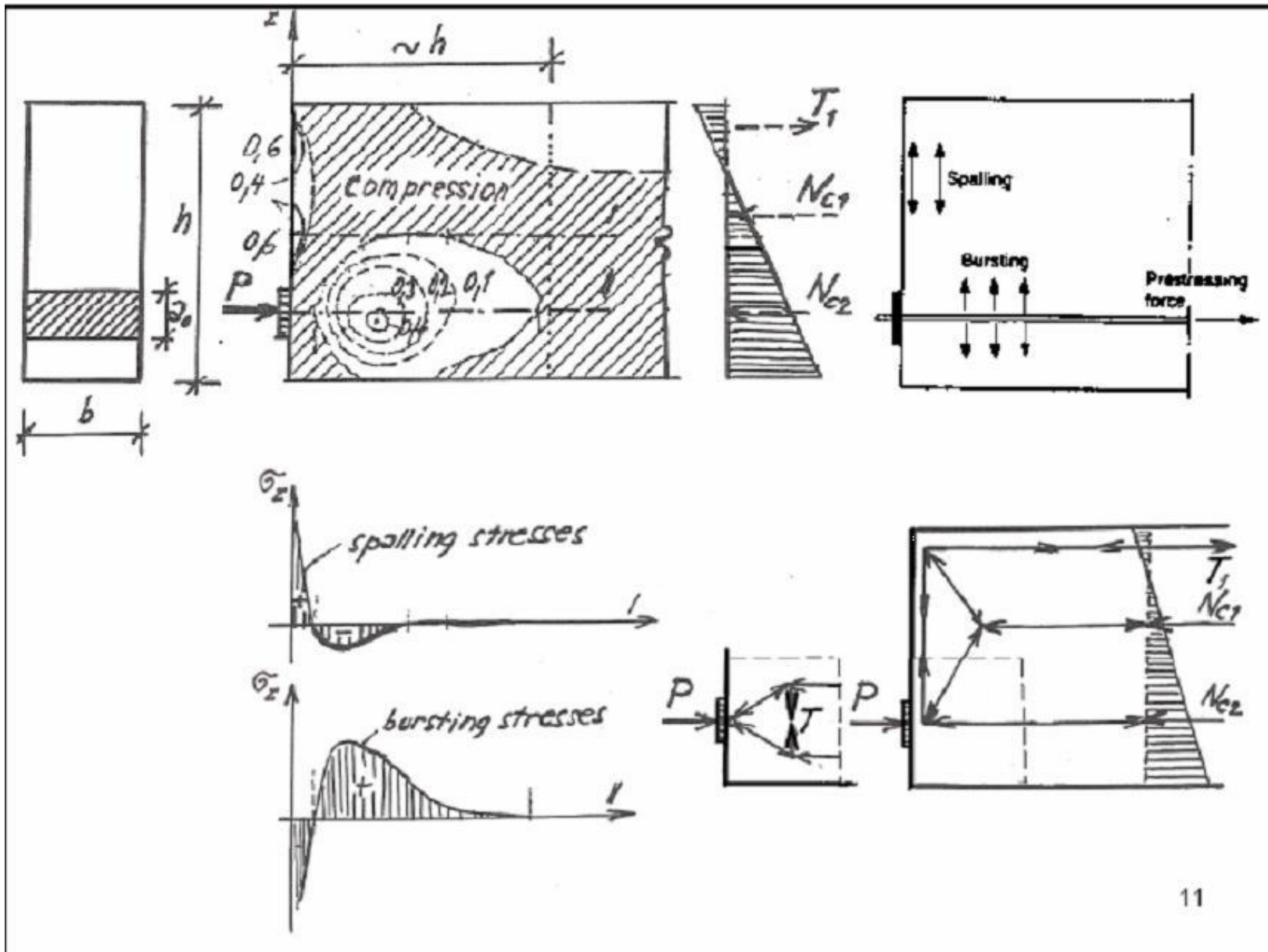
- 1) **Ležišni naponi** – veliki pritisak u betonu neposredno do ležišne (ankerne) ploče;
- 2) **Naponi pucanja (bursting)** koji se generišu u lokalnoj zoni;
- 3) **Naponi ljuštenja (spalling)** koji proizilaze usljed daljeg širenja napona izvan lokalne zone.



*Raspodjela poprečnih napona (bursting) na kraju elementa*

Poprečni naponi se u zoni ankerovanja manifestuju kao pritisak na dužini  $0.1y_0$  od kraja nosača, a na preostalih  $0.9y_0$  su naponi zatezanja.

# Raspodjela napona u ankernoj zoni



## Proračun zone ankerovanja naknadno zategnutih kablova prema EN 1992-1-1:2004

Pri proračunu važe pretpostavke:

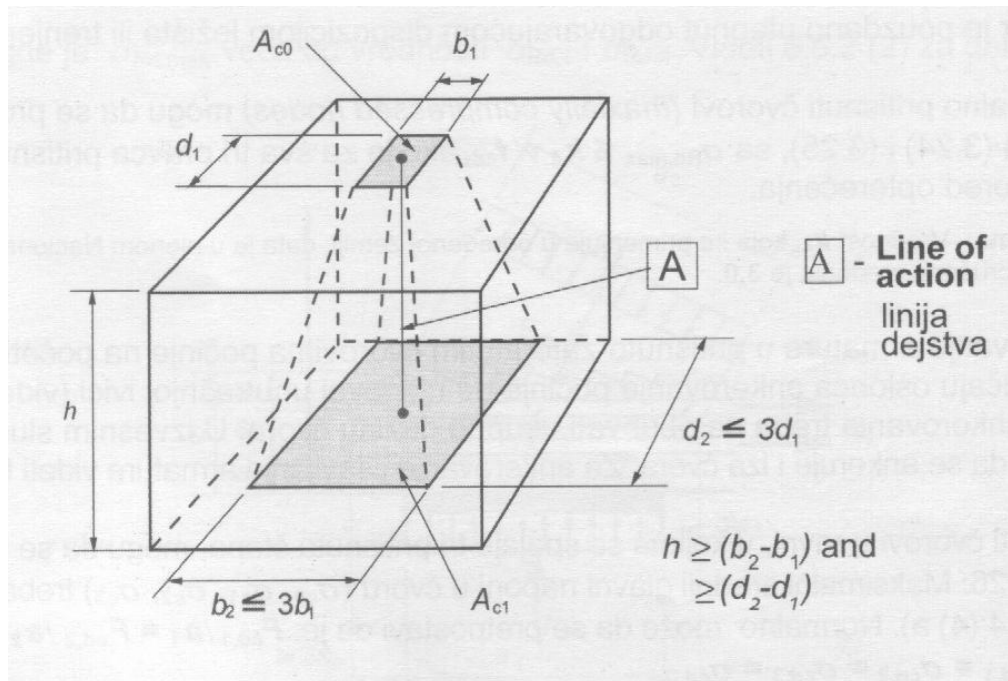
1. Proračunska vrijednost sile prethodnog naprezanja se određuje sa parcijalnim koeficijentom  $\gamma_{P,unfav} = 1.2$
2. U proračunu se koristi donja karakteristična vrijednost čvrstoće betona pri zatezanju
3. Zona ankerovanja kablova se proračunava prema modelu pritisnutih štapova i zatega ili drugom odgovarajućem modelu.
4. Detalji armature konstruišu se za napon jednak njenoj proračunskoj čvrstoći. Ako napon u armaturi nije veći od 300 MPa nije potrebna provjera širine prslina.

## Lokalno opterećenje

U ankernoj zoni potrebno je uzeti u obzir

- mogući lokalni lom usljed drobljenja betona
- poprečne sile zatezanja

Granična sila pritiska :  $F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}} \leq 3.0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$



$A_{c0}$  lokalno opterećena površina

$A_{c1}$  maksimalna proračunska površina na koju može da se raspodijeli opterećenje,

$f_{cd}$  proračunska vrijednost čvrstoće betona pri pritisku

**Proračunska površina za raspodjelu  $A_{c1}$  za graničnu silu pritiska treba da zadovolji sljedeće uslove:**

➤ **Visina  $h$  do proračunske površine treba da ispunjava uslove**

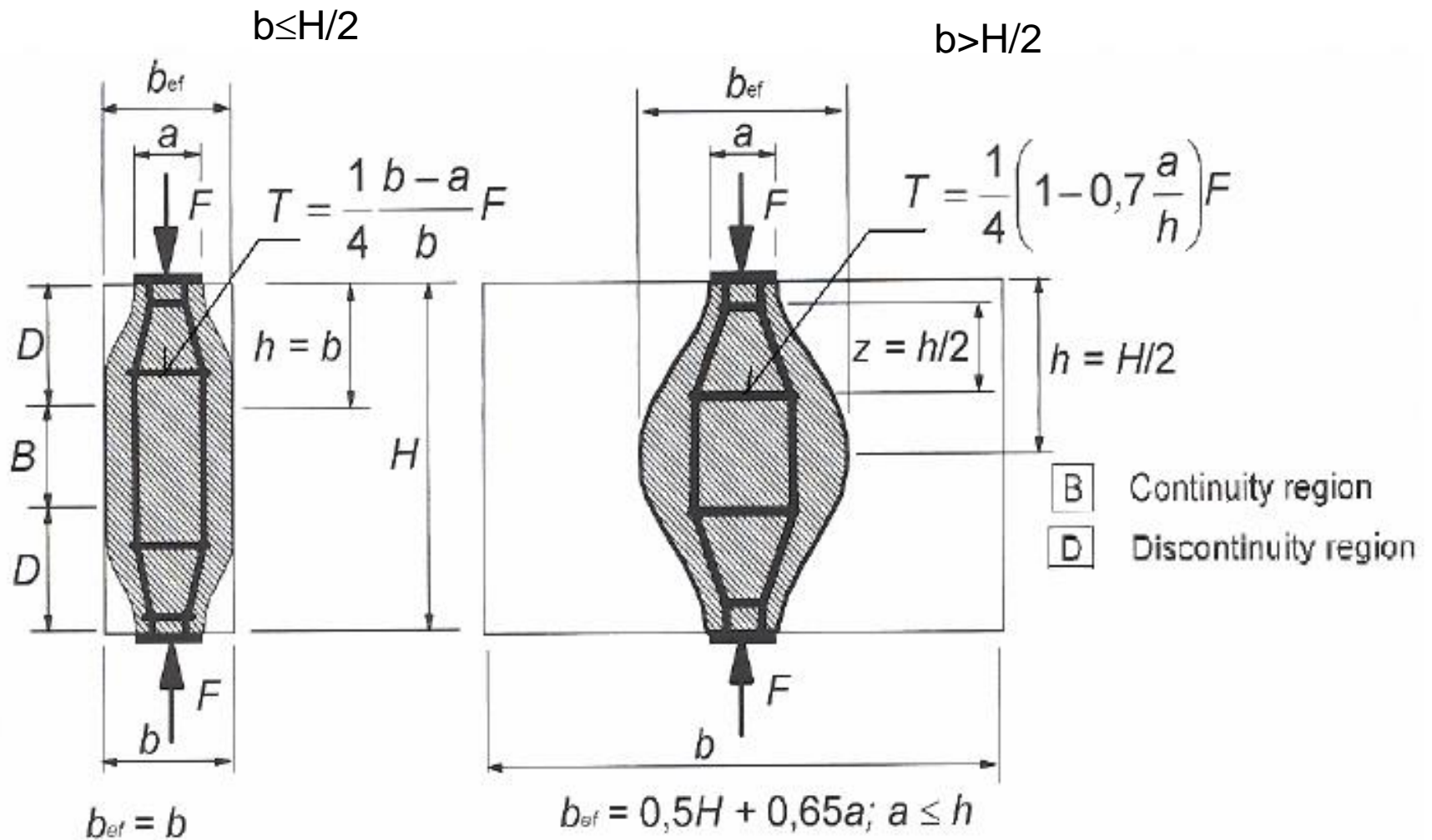
$$h \geq (b_2 - b_1)$$

$$h \geq (d_2 - d_1)$$

➤ **Središte proračunske površine  $A_{c1}$  treba da bude na pravcu dejstva sile kroz središte lokalno opterećene površine  $A_{c0}$ .**

➤ **Ako postoji više od jedne sile pritiska koja djeluje na poprečni presjek betona, proračunske površine raspodjele ne treba da se preklapaju.**

# Model pritisnutih štapova i zatega (Strut-and-Tie Model)

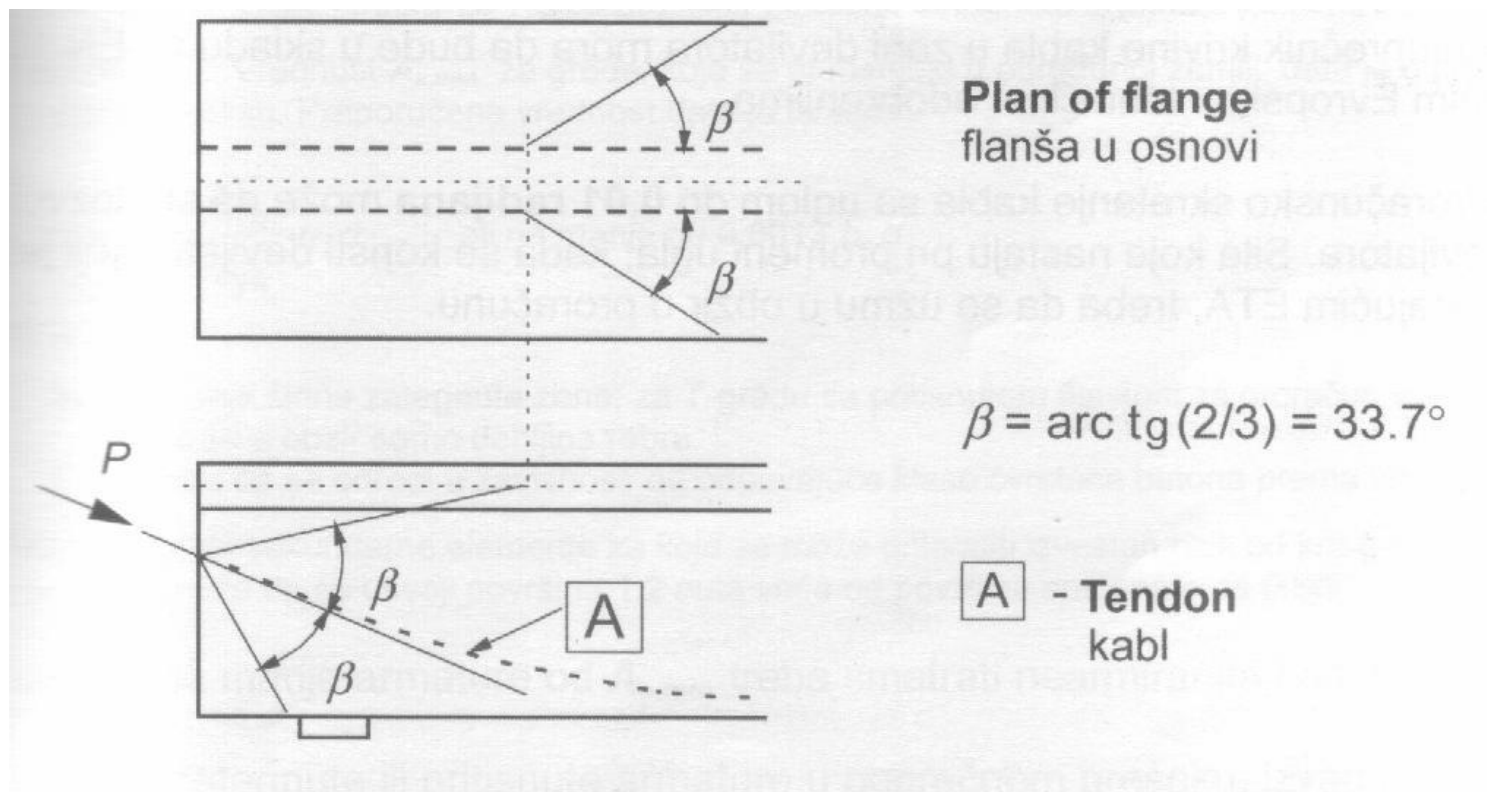


a) Parcijalni diskontinuitet

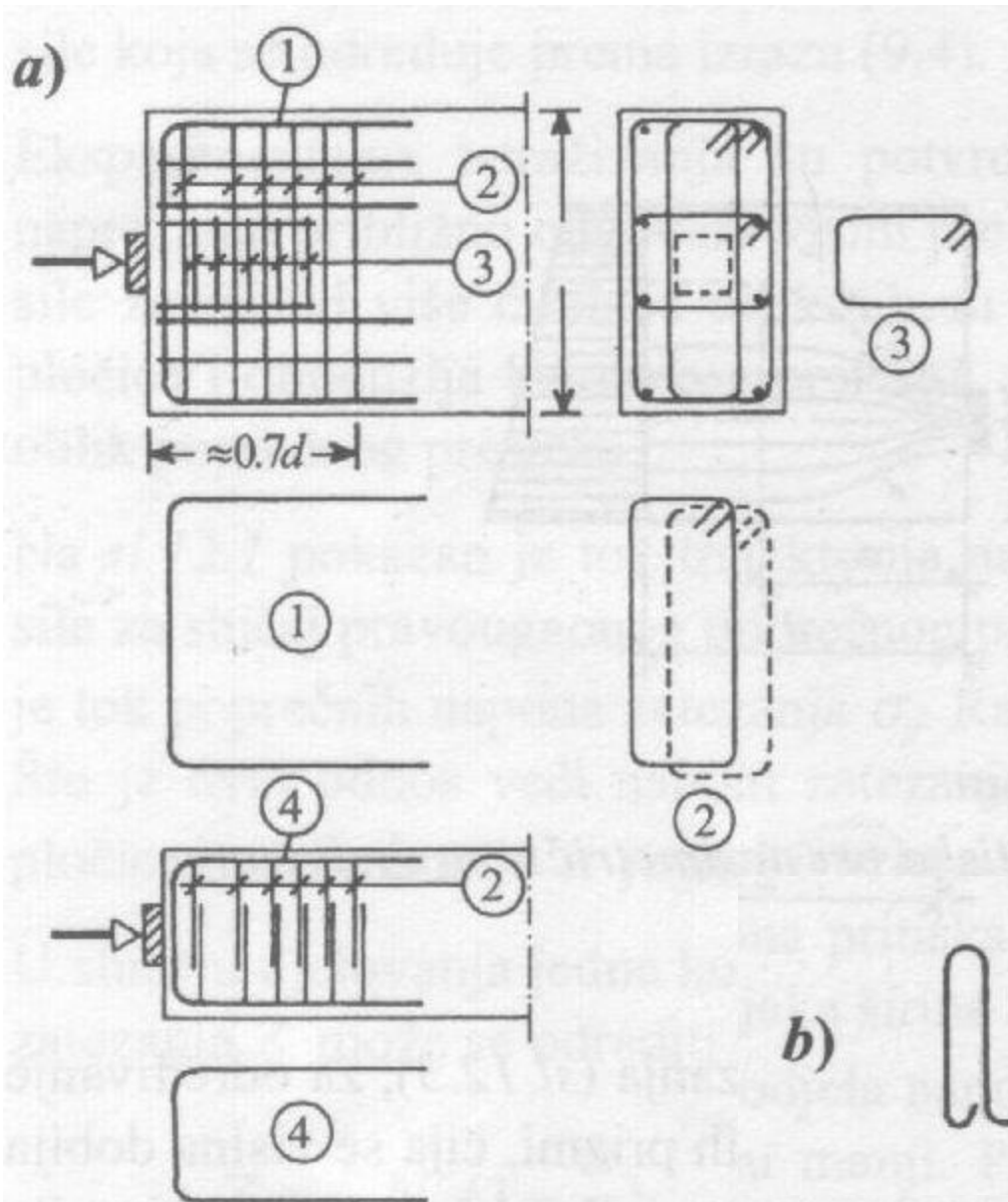
b) Potpuni diskontinuitet



Dužina disperzije može da se odredi sa pretpostavkom da se sila prethodnog naprezanja ravnomjerno raspoređuje duž elementa pod uglom  $2\beta$ , počev od presjeka u kojem je kraj uređaja za ankerovanje. Može se pretpostaviti da je  $\beta = \arctg 2/3$ .



## Armiranje zone unošenja sile prethodnog napreznja



Armatura za prijem sila zatezanja može biti u obliku zavarenih uzengija, ili u obliku spirala, koje se preklapaju pod pravim uglom.

Pored ove armature dodaju se i šipke oblika "ukosnice" (poz 1 i poz 4, na slici).

b)

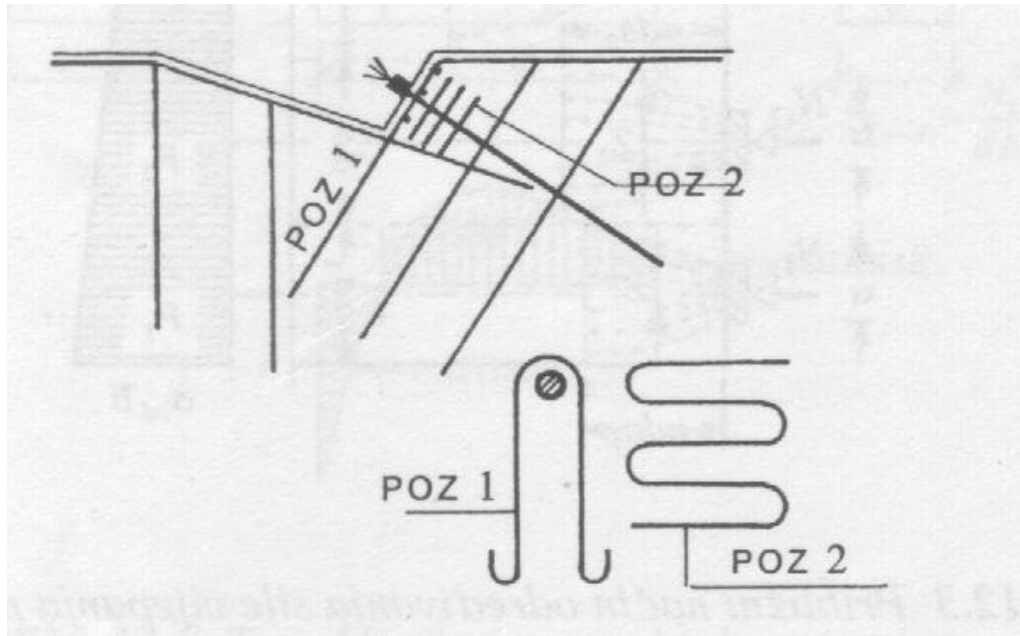


Lokalna zona se ojačava tako što se obuhvata spiralnom armaturom.

Spiralna armatura se vodi oko kabla, na dijelu ispod podložne ploče.



## Armiranje zone ankerovanja kablova u pojasu nosača



## Armiranje zone ankerovanja kablova kod kružnih zidova

