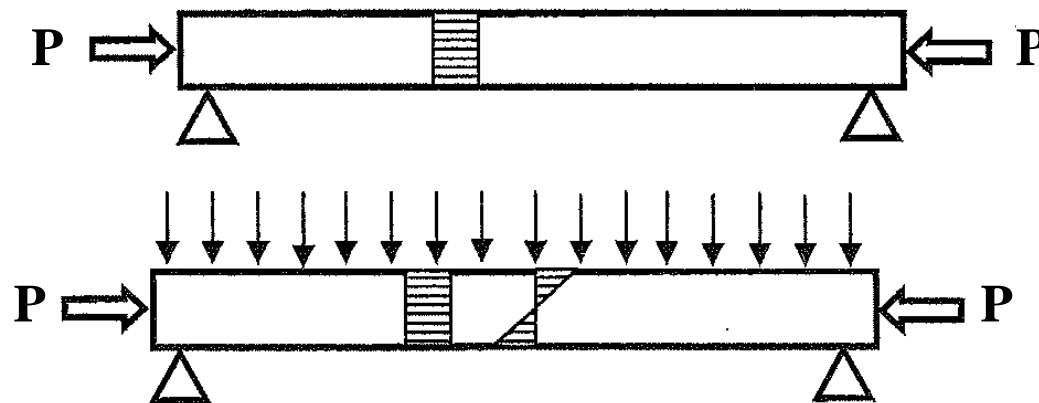


- Betonul – rezistență la compresiune bună; rezistență la întindere redusă
 - ⇒ betonul armat (armătură întinsă ...);
 - ⇒ betonul precomprimat.

- PRINCIPIUL PRECOMPRIMĂRII:

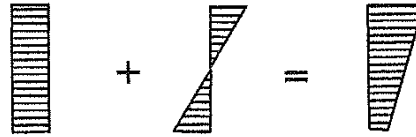


Comportarea deficitară a betonului la întindere este anulată prin introducerea, înainte de încărcarea exterioară, a unei forțe de compresiune prin intermediul armăturii de precomprimare.

În betonul precomprimat eforturile de întindere, produse de încărcările exterioare, sunt reduse sau anulate de eforturile de compresiune inițiale datorate precomprimării.

- PRINCIPIUL PRECOMPRIMĂRII:

compresiune + compresiune = compresiune puternică



compresiune + întindere = compresiune

$$\sigma_{\text{precompr.}} + \sigma_M = \sigma_{\text{final}}$$

Încărcări exterioare \Rightarrow tensiuni de întindere din încovoiere M .

Tensiunile de întindere din M sunt preluate prin decompresiune.

Compresiunea din M + Compresiunea din P (precomprimare) = compresiune puternică a betonului.

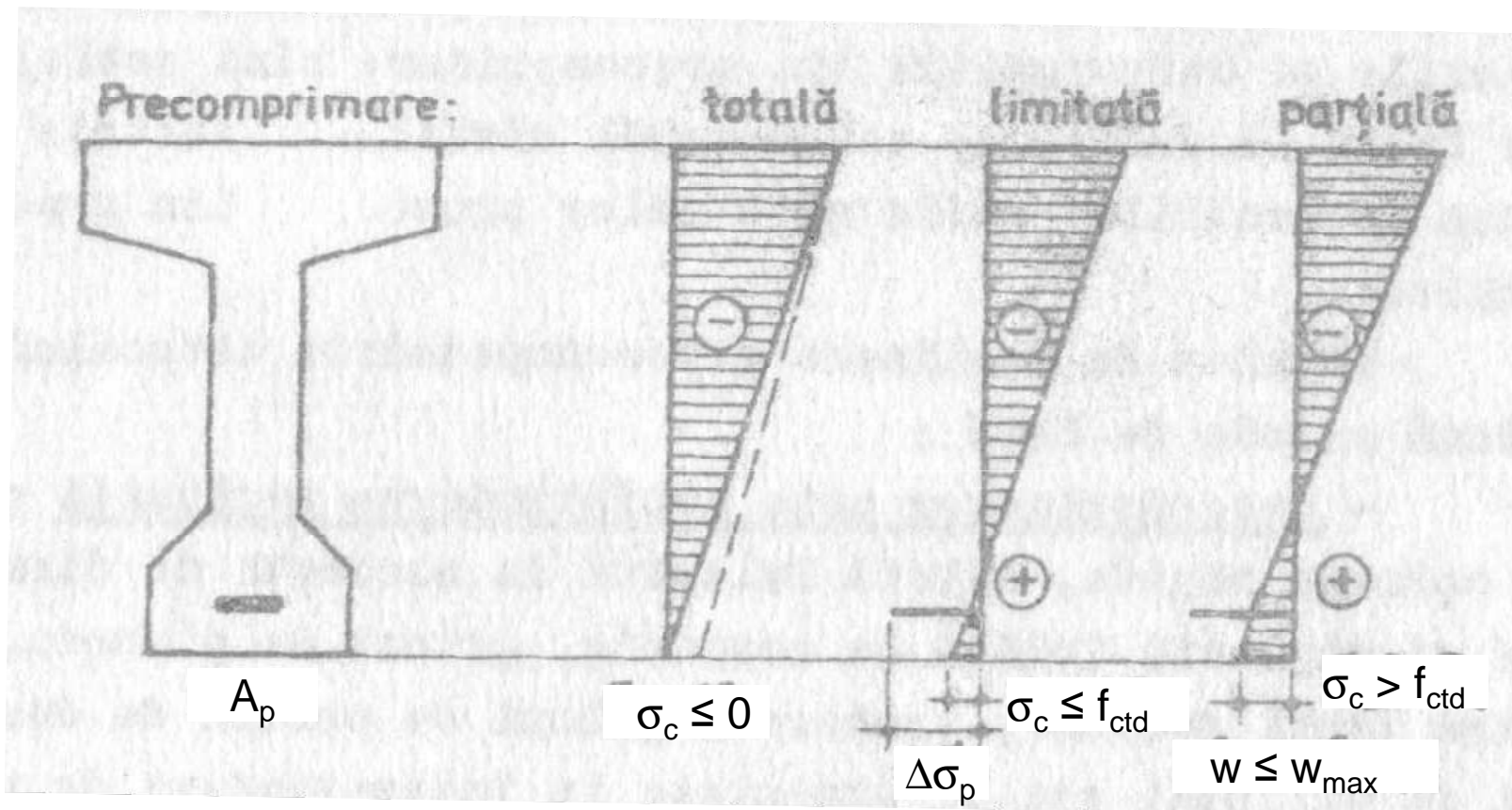
Întreaga secțiune transversală este activă (comprimată).

- Forța inițială de compresiune permanentă este introdusă controlat în beton prin intermediul barelor pretensionate din oțel.

Barele din oțel de înaltă rezistență solicitate la forțe de întindere apropiate de capacitatea lor de rezistență sunt fixate în beton. La transfer (după precomprimare) barele sunt lăsate libere și tind să-și recapete lungimea inițială \Rightarrow forța de compresiune în beton.

- PRINCIPIUL PRECOMPRIMĂRII:

- Precomprimare totală: întreaga S.T. comprimată.
- Precomprimare limitată: sunt admise eforturi mici de întindere în S.T.
- Precomprimare parțială: apar eforturi de întindere în S.T.



- AVANTAJELE FOLOSIRII BETONULUI PRECOMPRIMAT

Întreaga secțiune transversală este activă.

În comparație cu betonul armat, avantajele sunt:

- la încărcări de serviciu (în exploatare) elementele din beton precomprimat nu sunt fisurate;
- elementele din beton precomprimat rezistă mai bine la coroziune, atac chimic și penetrarea apei (fără fisuri);
- rigiditate substanțial mărită (S.T. activă în întregime);
- deoarece întreaga S.T. este activă, elementele din beton precomprimat sunt mai zvelte (raportul $L / h \uparrow$); se pot compara cu elementele din oțel;
- se folosesc betoane și oțeluri cu rezistențe superioare, economice ca raport preț / rezistență.

- DEZAVANTAJELE BETONULUI PRECOMPRIMAT

- execuția mai complicată; necesită muncitori specializați;
- necesită dispozitive de ancoraj sau speciale, costisitoare.

- FOLOSIREA ELEMENTELOR DIN BETON PRECOMPRIMAT

- structuri cu deschideri mari unde raportul încărcărilor permanente / utile $\uparrow \Rightarrow$ greutatea proprie a structurii este importantă și necesită S.T. reduse;
- structuri și grinzi de acoperiș;
- structuri parter: hale industriale, supermarket-uri;
- grinzi de poduri cu deschideri mari, având diferite S.T.: I, cheson, T, cu goluri, C;
- la clădiri: plăci precomprimate, panouri prefabricate precomprimate, grinzi și stâlpi prefabricați;
- silozuri și rezervoare de mare capacitate;
- structuri impermeabile: rezervoare și conducte.

Funcție de posibilitățile de ancoarare a barelor de oțel pt. precomprimare în beton, există:

- BETON PRECOMPRIMAT PRIN PREÎNTINDERE



- Toroanele de precomprimare se întind cu prese hidraulice fixate pe reazeme puternice de capăt;
- Toroanele de precomprimare se blochează în reazemele de capăt;
- Betonul se toarnă în cofraje incluzând toroanele de precomprimare;
- După întărirea betonului, toroanele se eliberează la capete transferând forța de precomprimare (faza de transfer) elementului de beton (datorită tendinței de scurtare) prin aderență;
- Se pot aplica încărcările ext. asupra elem. din beton precomprimat.

BETON PRECOMPRIMAT PRIN PREÎNTINDERE

- Toroane de precomprimare și blocaje de capăt:



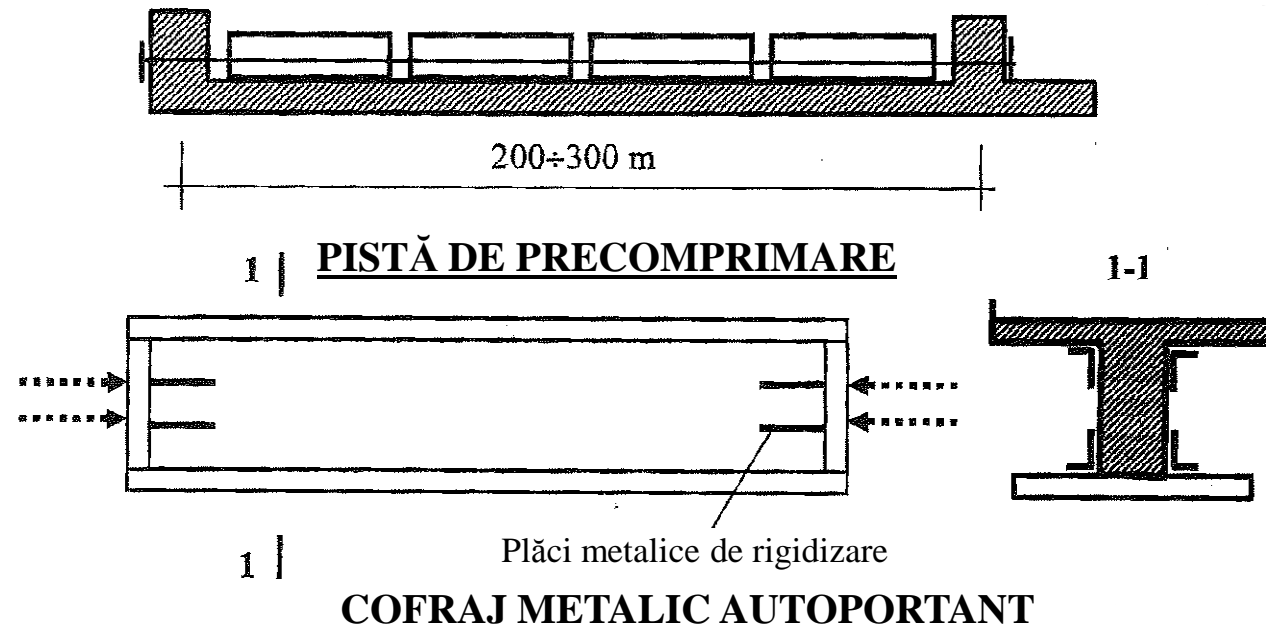
BETON PRECOMPRIMAT PRIN PREÎNTINDERE

- Transfer forță de precomprimare:



BETON PRECOMPRIMAT PRIN PREÎNTINDERE

- Din p.d.v. economic, se industrializează fabricarea pt. a folosi aceleași cofraje, prese de precomprimare și ancoraje.



- Pista de precomprimare: nu este posibilă tratarea betonului pt. întărire accelerată; se așteaptă întărirea naturală a betonului până la atingerea rezistenței necesare pt. transferul forței de precomprimare.
- Cofrajul metalic autoportant: pt. elemente singulare; este posibilă tratarea betonului pt. întărire accelerată.

BETON PRECOMPRIMAT PRIN PREÎNTINDERE

- Pistă de precomprimare:



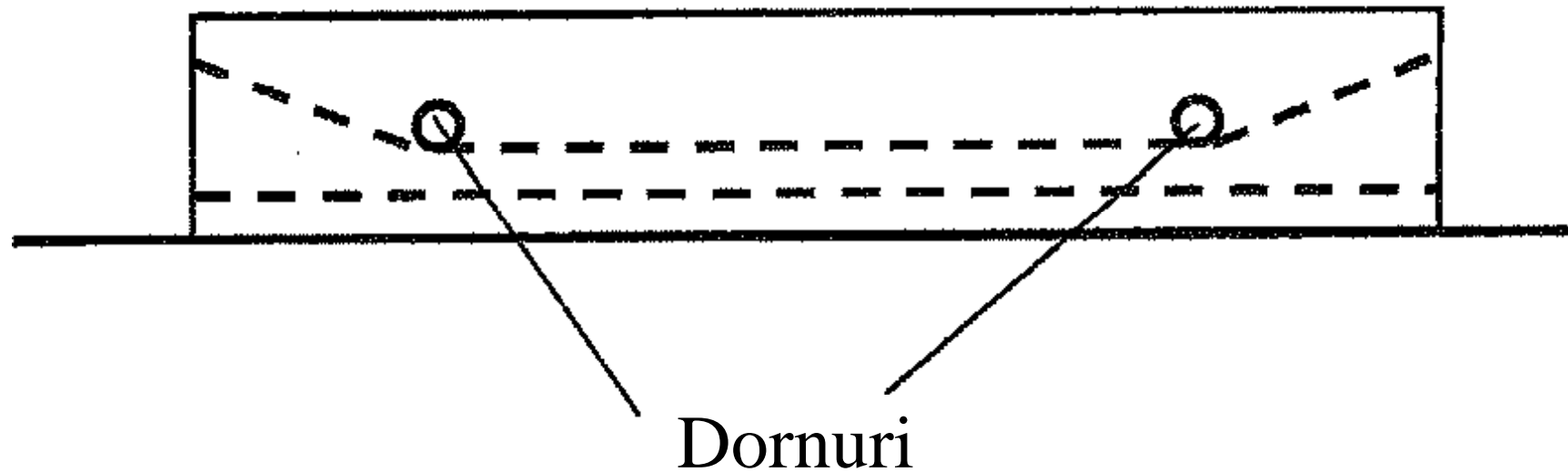
BETON PRECOMPRIMAT PRIN PREÎNTINDERE

- Cofraje metalice:



BETON PRECOMPRIMAT PRIN PREÎNTINDERE

- Uzual, traseul toroanelor este drept.
- Dacă se folosesc toroane curbe, sunt necesare dornuri pt. devierea traseului armăturilor:



PRECOMPRIMARE PRIN PREÎNTINDERE - EXEMPLE

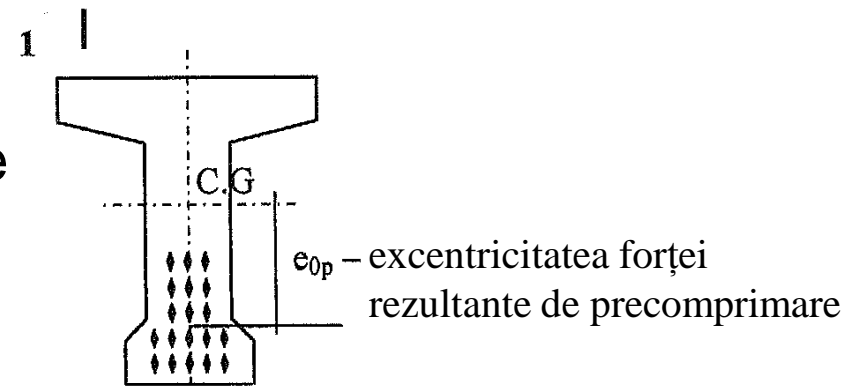
- Fază sensibilă: la transferul forței de precomprimare \Rightarrow elementul se deformează în sus cu posibile fisuri la partea superioară.

Măsuri recomandate pt. evitarea fisurării la partea superioară:

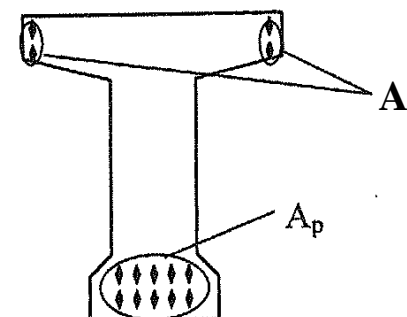
- a) S.T. variabilă;



- b) folosirea mai multor toroane \Rightarrow rezultanta forței de precomprimare excentrice P este plasată în sâmburele central al S.T. \Rightarrow numai compresiune;

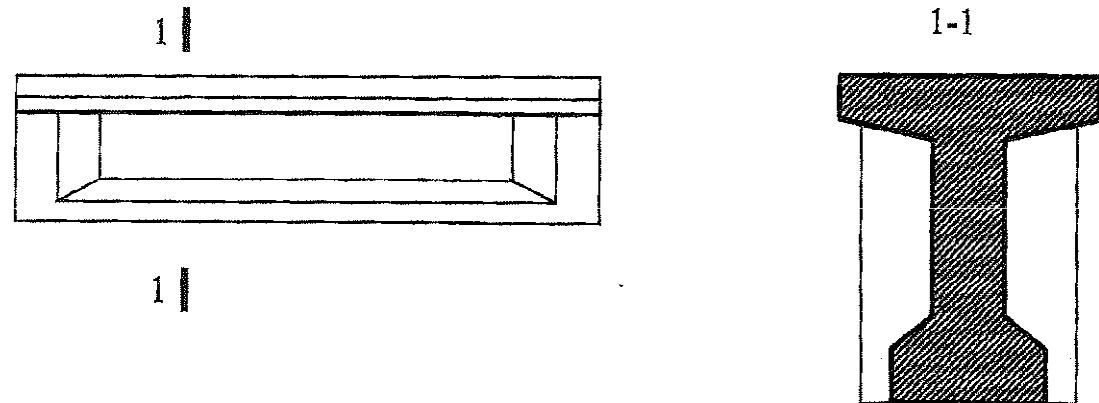


- c) armarea la partea superioară pt. a prelua întinderile la transfer.

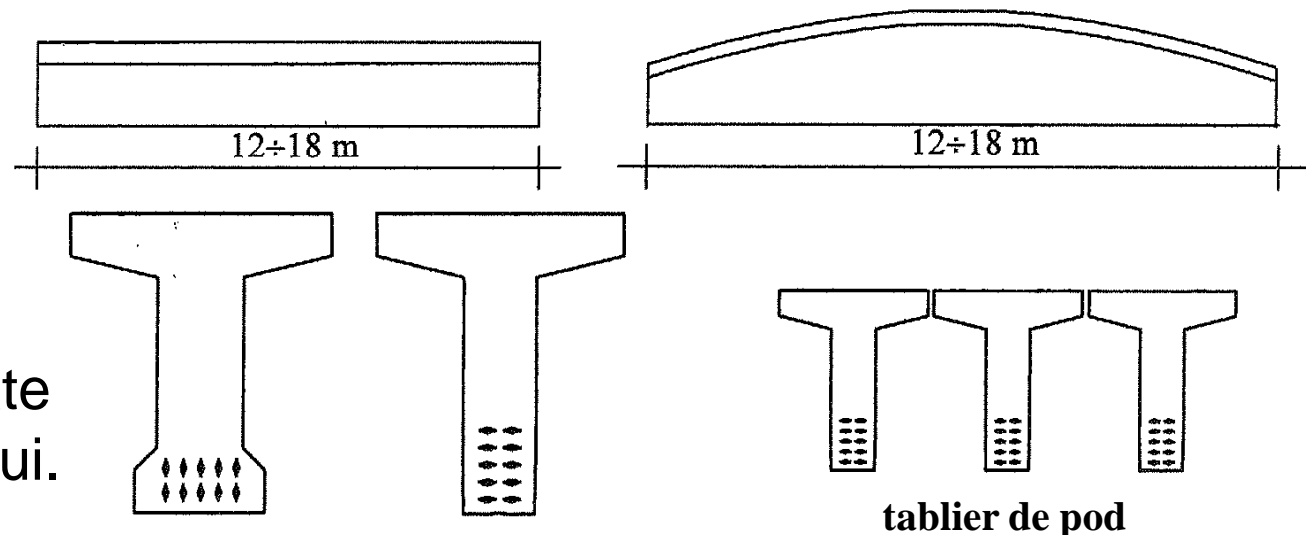


PRECOMPRIMARE PRIN PREÎNTINDERE - EXEMPLE

- Grinzi simplu rezemate drepte: pe care reazemă alte elemente plane (plăci) \Rightarrow planșee plane pt. clădiri etajate.



- Grinzi cu secțiuni I sau T drepte sau curbe la partea superioară:
 - acoperișuri pt. structuri parter cu deschideri mari;



- talpa superioară poate forma tablierul podului.

PRECOMPRIMARE PRIN PREÎNTINDERE – EXEMPLE

- Grinzi cu secțiune T constantă (grinzi secundare sau principale):

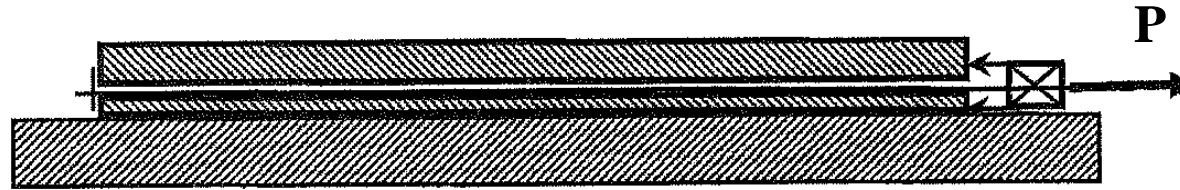


PRECOMPRIMARE PRIN PREÎNTINDERE – EXEMPLE

- Grinzi cu secțiune I variabilă (grinzi principale):

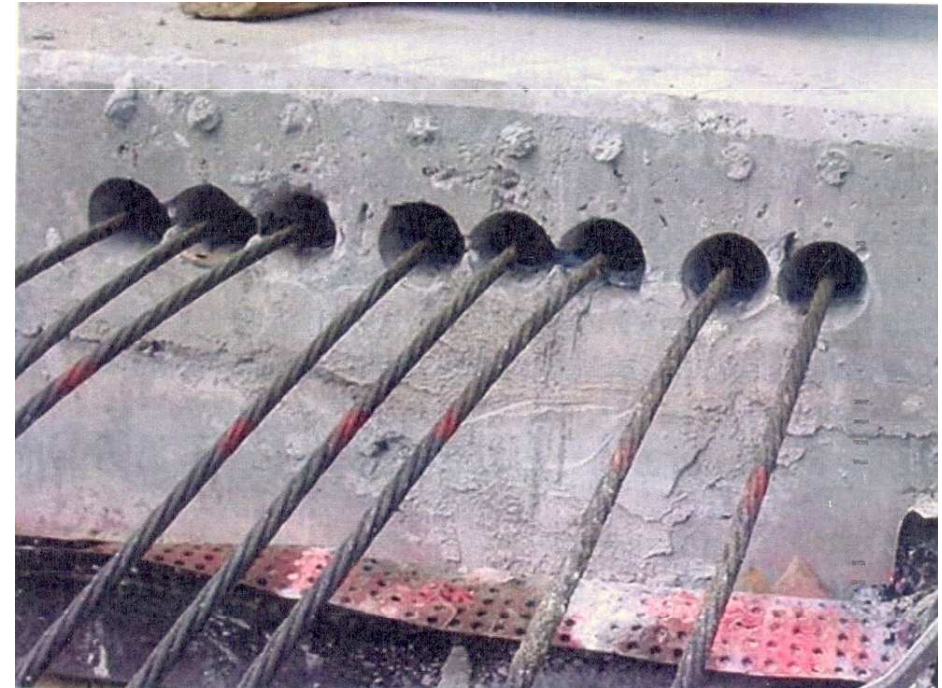


- BETON PRECOMPRIMAT PRIN POSTÎNTINDERE



- Turnarea elementului din beton armat care conține canale;
 - Toroanele sunt introduse în canale.
- sau
- Postîntinderea poate fi realizată prin toroane exterioare (în afara S.T.), fără toroane în interiorul elementului din beton.
 - Toroanele sunt întinse prin prese hidraulice rezemate pe elementul din beton \Rightarrow transferul forței de precomprimare este continuu.
 - După atingerea nivelului de tensiune dorit capătul toronului se blochează pe elementul din beton.
 - Se pot aplica încărcările ext. asupra elem. din beton precomprimat.

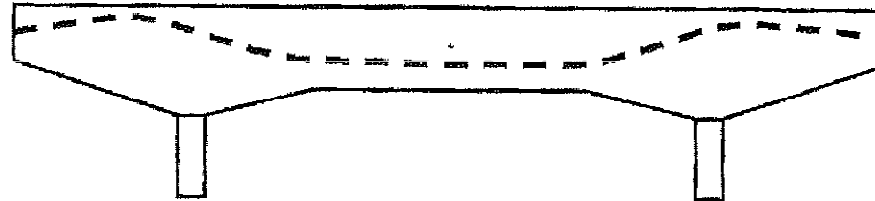
- BETON PRECOMPRIMAT PRIN POSTÎNTINDERE



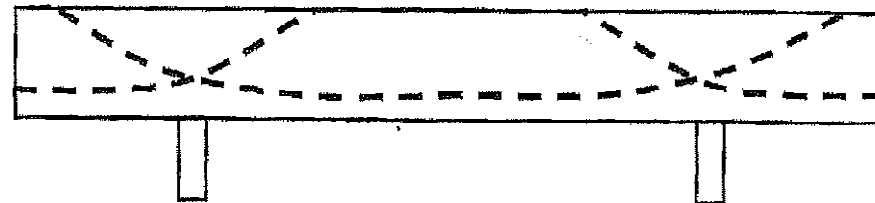
Rezervor din beton precomprimat realizat din elemente prefabricate asamblate prin postîntindere (canale + toroane)

PRECOMPRIMARE PRIN POSTÎNTINDERE - EXEMPLE

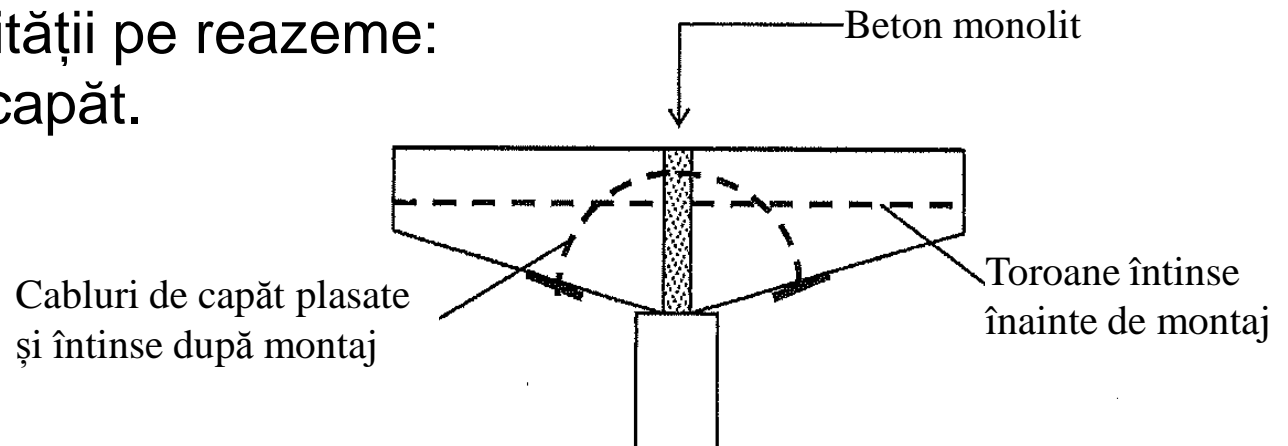
- Toroane drepte sau curbe pt. anularea efectelor încovoierii.
 - Grinzi curbe și toroane ușor curbate: înălțimea optimă a grinzii; poziția optimă a toroanelor de precomprimare.



- Cabluri ancorate în puncte intermediare: forță de precomprimare variabilă în lungul elementului.

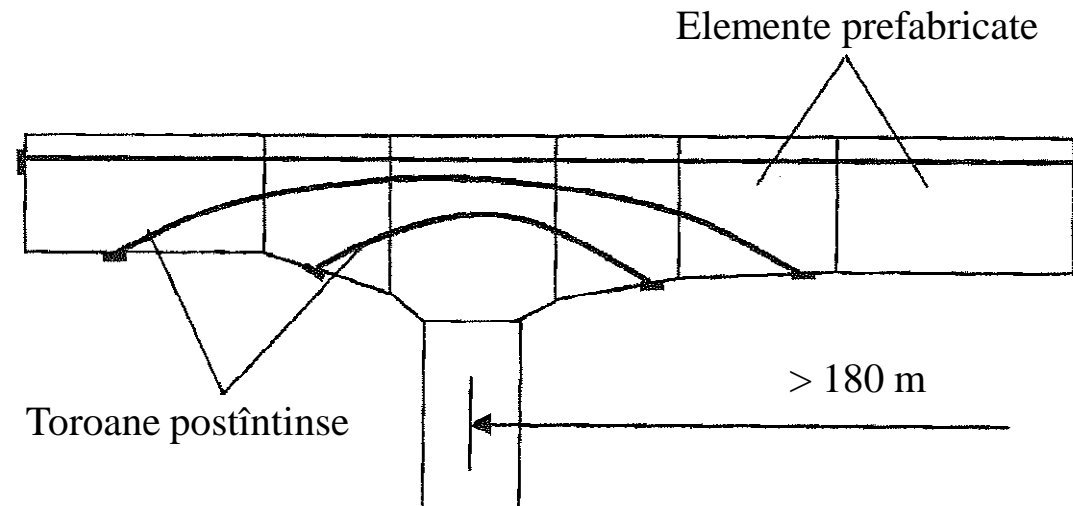


- Pt. asigurarea continuității pe reazeme: se adaugă cabluri de capăt.

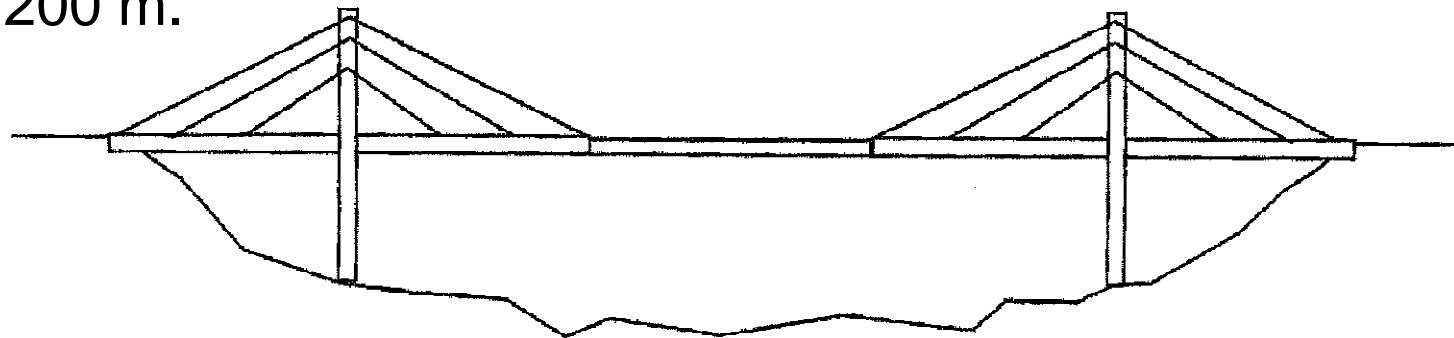


PRECOMPRIMARE PRIN POSTÎNTINDERE - EXEMPLE PODURI

- Poduri cu deschideri foarte mari (> 100 m):
 - Console din segmente: elemente prefabricate asamblate prin toroane postîntinse.
Deschideri < 200 m.



- Poduri suspendate (folosesc de asemenea tehnologia în consolă).
Deschideri > 200 m.



BETON

Se folosește beton de înaltă rezistență ($\geq C50/60$) pt.:

- acțiuni exterioare mari \Rightarrow compresiune inițială puternică în secțiunea de beton;
- ancorajele armăturilor de precomprimare sunt calculate pt. betoane de înaltă rezistență;
- modul de elast. ridicat \Rightarrow def. din curgere lentă reduse.

Trebuie să prezinte o anumită rezistență pt.:

- rezistență inițială (în faza de transfer), pt. a se realiza precomprimarea;

Poate fi necesară întărirea rapidă a betonului, prin:
cimentului cu rezistențe inițiale mari; tratarea cu aburi.

- rezistență finală, pt. aplicarea asupra elementelor din beton precomprimat a unor încărcări exterioare mari.

ARMĂTURI PT. PRECOMPRIMARE

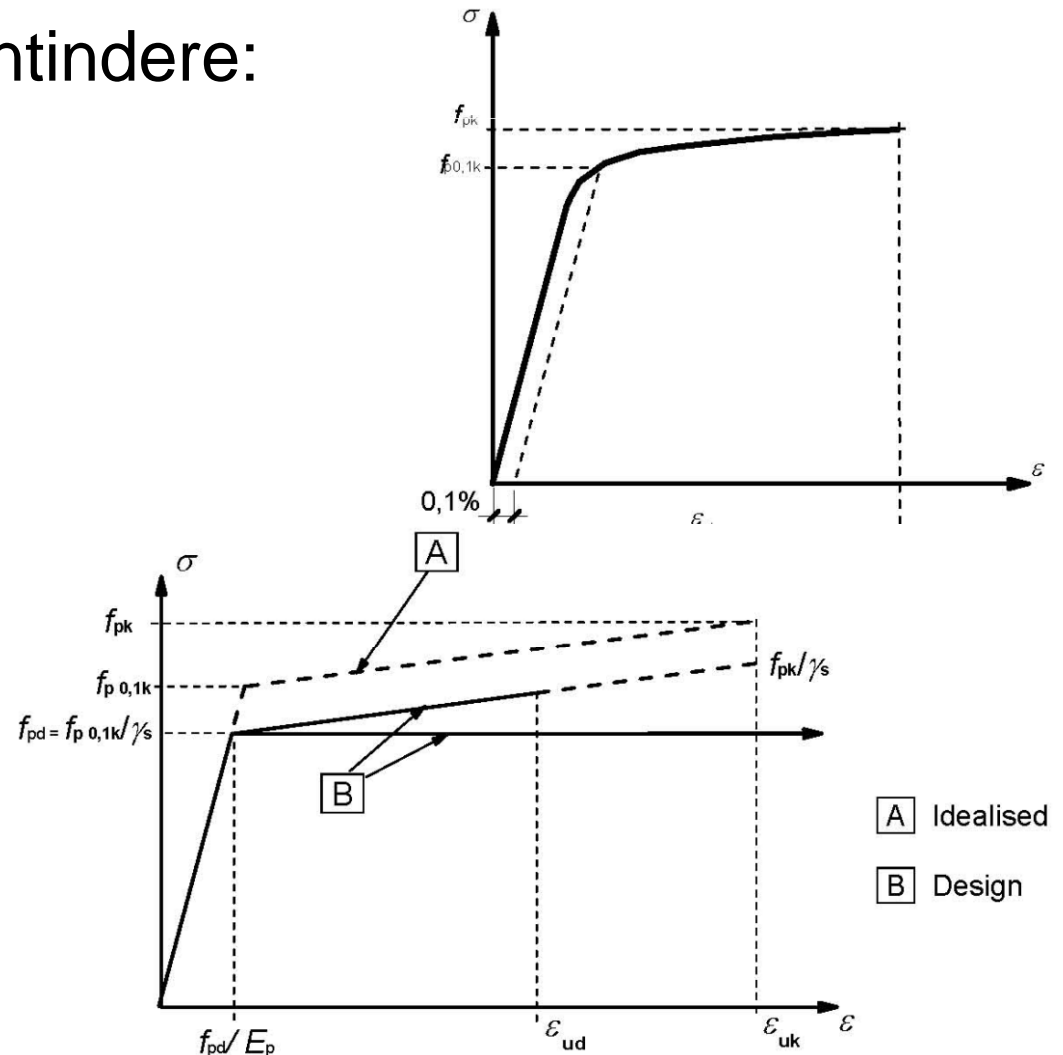
- Din oțeluri de înaltă rezistență (conținut de carbon ridicat) pt. a obține forța de precomprimare inițială P_0 mare.
- Diagrama $\sigma - \varepsilon$ tipică la întindere:

- $E_p = 185...210$ GPa

- Diagrama $\sigma - \varepsilon$ de calcul: cu valori recomandate (EUROCODE 2)

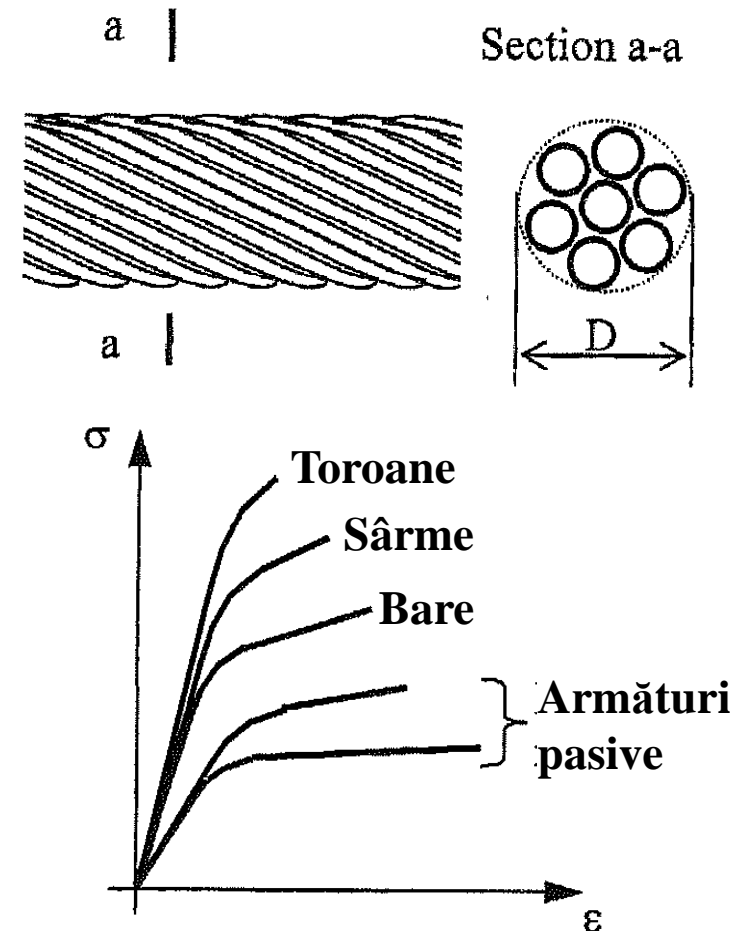
$$\varepsilon_{ud} = 0.02$$

$$f_{p0.1k} / f_{pk} = 0.9$$



ARMĂTURI PT. PRECOMPRIMARE

- Produse pt. toroanele de precomprimare:
 - Sârme: 1.5...7 mm (rezistența 1470...2100 N/mm²);
 - Toroane realizate din sârme răsucite împreună: 2, 3 sau 7 sârme – cel mai uzual.
Toroane de 9 mm (7 ϕ 3) sau 12 mm (7 ϕ 4).
Rezistența la întindere 1660...1910 N/mm².
 - Bare: rezistența 590 N/mm².
- Armătură obișnuită (pasivă) ca la elementele de beton armat (ex.: pt. tăiere).



MATERIALE AUXILIARE

- Pt. asigurarea pe parcursul execuției direcția proiectată a toroanelor.
- Pt. elemente preîntinse nu sunt necesare.
- Pt. elemente postîntinse sunt necesare:

- Teci pt. toroane înglobate.

Realizate din oțel, plastic sau cauciuc. Se pot extrage sau nu.

Tecile sunt injectate cu mortare speciale după întinderea armăturilor și fixarea lor pe element.

Mortare speciale (ciment cu rezistențe inițiale mari + ...) sau rășini epoxidice se folosesc pt. injectarea tecilor.

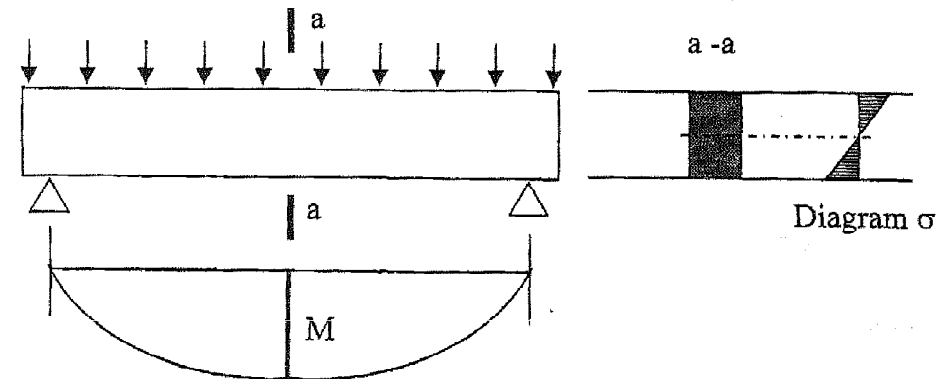
- Teci pt. toroane neînglobate (permanent).

Realizate din plastic sau alte materiale.

- Toroanele exterioare pot fi protejate prin acoperire cu beton sau membrane de protecție.

ELEMENTE DIN B.P. SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE

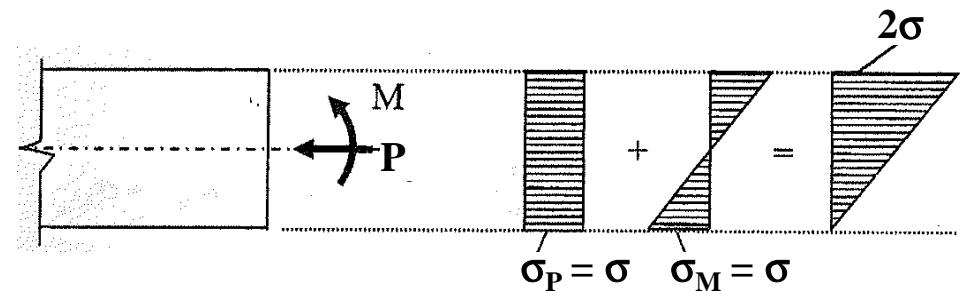
- Grinzi solicitate la încărcări exterioare:
- Pt. a reduce tensiunile de întindere din beton se aplică o forță centrică de compresiune P , dată de armăturile de precomprimare:



$$\sigma_P = \frac{P}{A} \quad \sigma_M = \frac{M}{W}$$

$$\sigma_{\text{total max}} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = 2 \cdot \sigma$$

$$\sigma_{\text{total min}} = \frac{P}{A} - \frac{M}{W} = 0$$

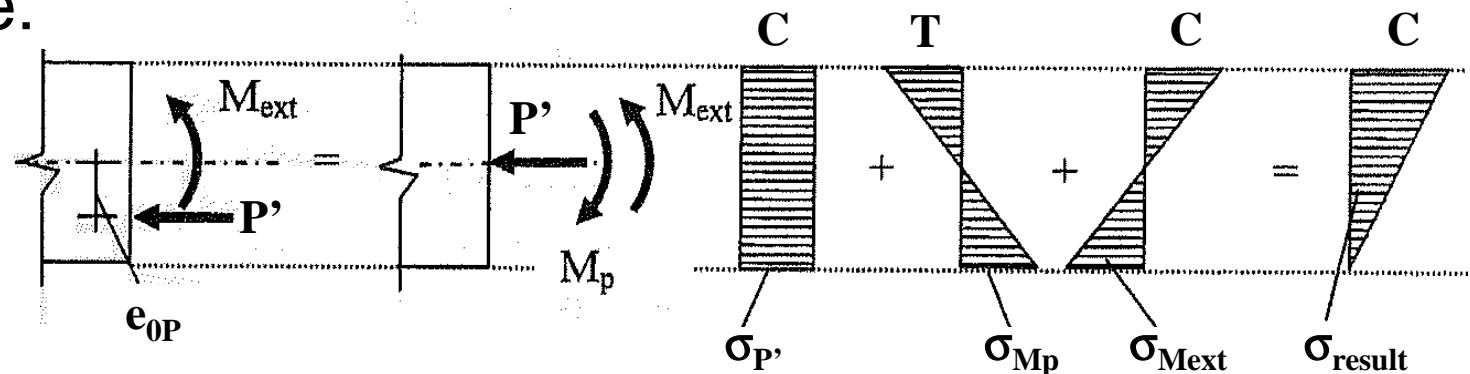


- Pt. a rezulta tensiuni de întindere nule este necesar:

$$P = \frac{M}{W} \cdot A$$

ELEMENTE DIN B.P. SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE

- Reducerea tensiunilor de întindere este necesară la partea inferioară \Rightarrow o altă soluție recomandată: aplicarea unei forțe excentrice de compresiune P , dată de armăturile de precomprimare:



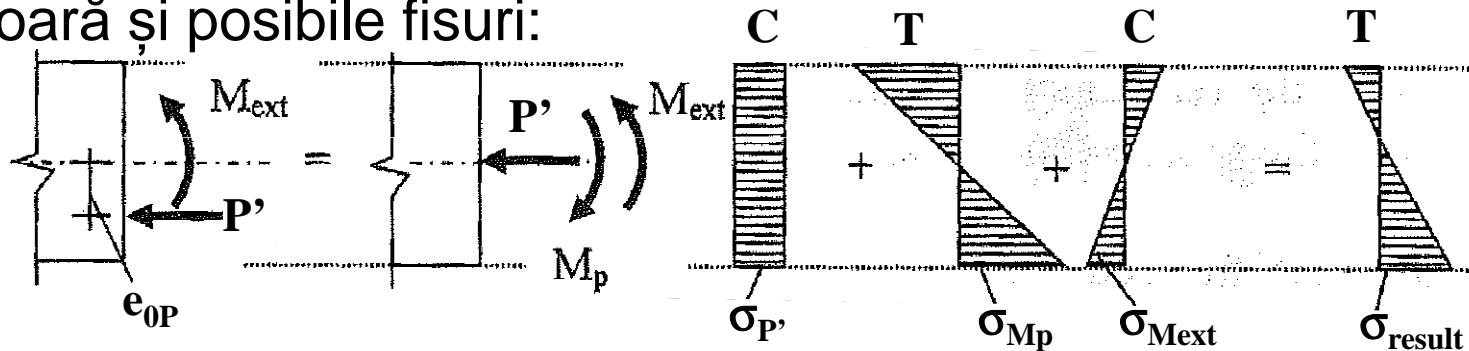
- unde:
- $M_p = P' \cdot e_{0P}$ – moment dat de P' ;
 - P' – forța de precomprimare;
 - M_{ext} – moment dat de încărcările exterioare.

$$\sigma_{P'} = \frac{P'}{A} \quad \sigma_{M_p} = \frac{\pm P' \cdot e_{0P}}{W} \quad \sigma_{M_{ext}} = \frac{\pm M_{ext}}{W} \quad \sigma_{result} = \sigma_{P'} + \sigma_{M_p} + \sigma_{M_{ext}}$$

- În final $P' < P$ pt. a obține tensiuni de întindere nule.

ELEMENTE DIN B.P. SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE

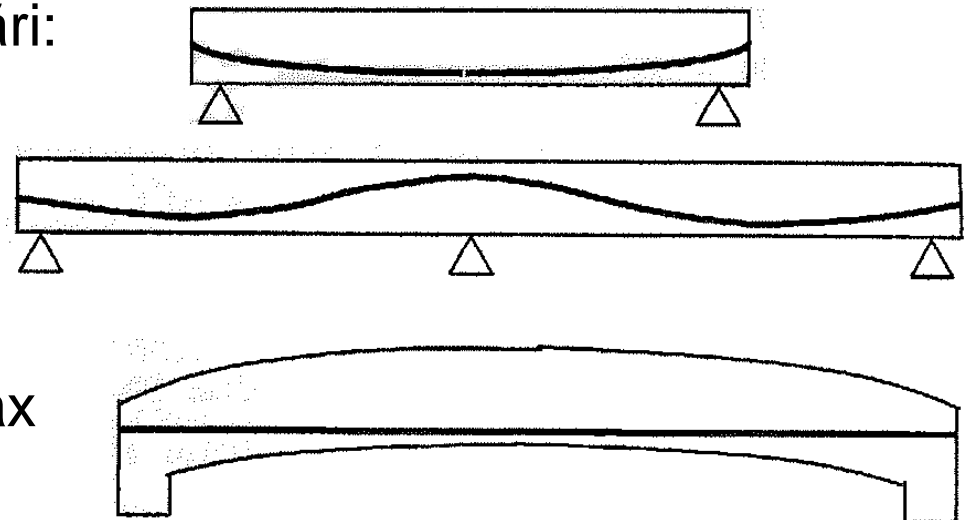
- Momentul încovoietor exterior M_{ext} este variabil în lungul grinzii și poate fi 0. În aceste secțiuni apar tensiuni de întindere la partea superioară și posibile fisuri:



Pt. evitarea acestei fisurări este necesar ca excentricitatea e_{0P} a forței de precomprimare sa fie cuprinsă în sâmburele central al secțiunii.

Posibilități de evitare a acestei fisurări:

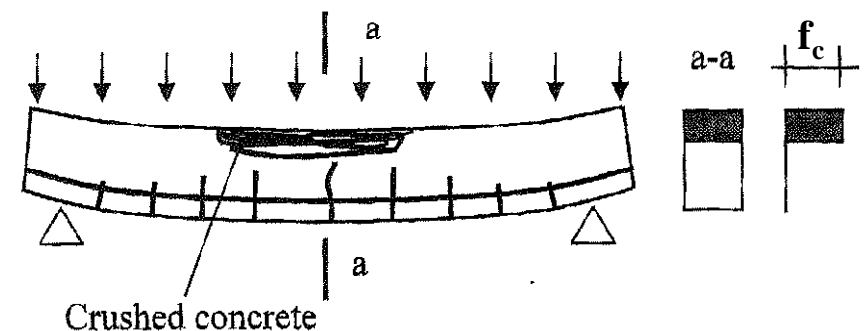
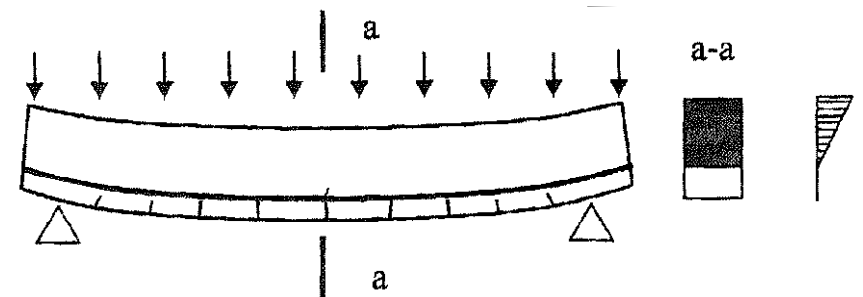
- prin devierea traiectoriei forței de precomprimare similar cu diagrama de M_{ext} :
- prin adoptarea unei secțiuni variabile a grinzii $\Rightarrow e_{0P} = 0 \dots \max$ similar cu diagrama de M_{ext} :



STADII DE LUCRU LA ÎNCOVOIERE

La creșterea încărcării exterioare (sau a momentului) de la $0 \div \text{max.}$, elementele din BP se comportă similar cu elementele din BA:

- stadiul I : de la $0 \div$ fisurare – comportare elastică;
- stadiul Ia : apariția primei fisuri în zona întinsă a secțiunii;
- stadiul II : comportare ca elementele din BA cu zona întinsă fisurată;
- stadiul III : ruperea. Nu apare curgerea armăturilor. Tensiunile de compresiune din beton = rezistența la compresiune \Rightarrow ruperea prin cedarea betonului similară cu elementele din BA solificate la compresiune excentrică cu mică excentricitate.



PIERDERI DE TENSIUNE

- Forța de precompr. din toroane nu rămâne const. în timp.
- Pierderile de tensiune sunt funcție de: timp, condițiile de expunere ext., dimensiunile elementului, stadiul de încărcare, proprietățile materialelor (oțel și beton), specifice pt. preîntindere și postîntindere, etc.
- Funcție de cauză producerii, pierderile de tensiune sunt din:
 - procesul de precomprimare;
 - blocaje (ancoraje de capăt);
 - frecare în lungul tecilor înglobate;
 - condiții de tratare;
 - scurtarea elastică a betonului datorită forței permanente de compresiune din precomprimare;
 - dependente de timp: curgerea lentă și contracția betonului, și relaxarea armăturilor, la forța permanentă de precomprimare.