

3 Comportarea elementelor de beton precomprinat sub sarcini

Pentru a simplifica expunerea, efectul pierderilor de tensiune din armătură este ignorat în acest capitol. El va fi introdus în capitolul următor.

3.1 Evoluția eforturilor unitare în armătură și în beton în faza inițială

Trebuie definite mai întâi noțiunile de fază inițială și fază finală :

- prin *fază inițială* se înțelege intervalul de timp care începe odată cu fabricarea elementului și se termină cu transferul eforturilor de la armătura pretensionată la beton;
- prin *fază finală* se înțelege intervalul care începe la sfârșitul fazei inițiale și durează până se dezvoltă toate pierderile de tensiune reologice.

3.1.1 Armături en preîntinse

Întinderea cablurilor se face pe culei fixate în sol și deformația (alungirea) cablului este ε_{p0} . În momentul transferului eforturilor între armătură și beton, are loc o scurtare a betonului și, în același timp, o scurtare a armăturii, de valoare ε_{bp} . În consecință deformația armăturii scade la valoarea ε_{pp} .

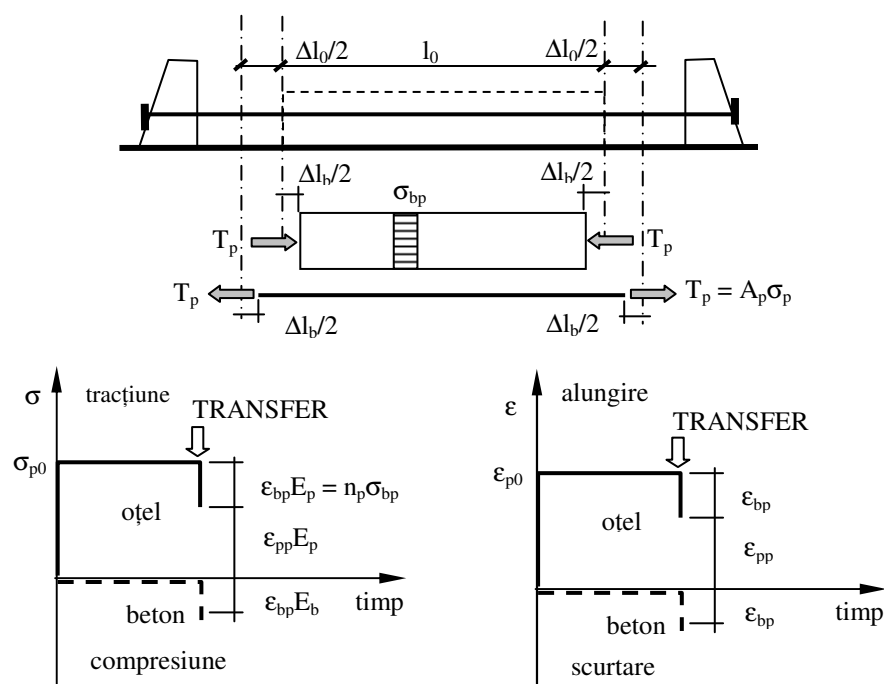


Figura 3.1 – Deformații și eforturi unitare într-un element precomprinat prin preîntindere în faza inițială

Relația între deformațiile armăturii și betonului este :

$$\varepsilon_{p0} = \varepsilon_{pp} + \varepsilon_{bp} \quad (3.1)$$

Efortul unitar în armătură înainte de transfer este :

$$\sigma_{p0} = \varepsilon_{p0} E_p \quad (3.2)$$

Efortul unitar în beton după transfer este :

$$\sigma_{bp} = \varepsilon_{bp} E_b \quad (3.3)$$

Efortul unitar în armătură după de transfer este :

$$\sigma_{pp} = \varepsilon_{pp} E_p = (\varepsilon_{p0} - \varepsilon_{bp}) E_p = \sigma_{p0} - n_p \sigma_{bp} \quad (3.4)$$

cu $n_p = E_p/E_b$

Echilibrul forțelor interne (compresiunea din beton și întinderea din armătură) după transfer dă :

$$A_b \sigma_{bp} = A_p \sigma_{pp} \quad (3.5)$$

De unde rezultă :

$$A_b \sigma_{bp} = A_p (\sigma_{p0} - n_p \sigma_{bp}) \Rightarrow \sigma_{bp} = \frac{A_p \sigma_{p0}}{A_b + n_p A_p} = \frac{P_0}{A_{bi}} \quad (3.6)$$

Se poate ajunge la relația (3.6) și printr-o altă abordare : dacă se consideră forța de precomprimare P_0 ca o forță exterioară aplicată pe secțiunea echivalentă omogenezată de arie A_{bi} , efortul unitar în beton este :

$$\sigma_{bp} = \frac{P_0}{A_{bi}}$$

Se pot deci determina deformația și efortul unitar în beton considerând precomprimarea ca o forță exterioară.

3.1.2 Armături postîntinse

Cazul armăturilor postîntinse este ilustrat în figura 3.2. Echilibrul forțelor interne dă :

$$A_b \sigma_{bp} = A_p \sigma_{pp}$$

Cu : $\sigma_{bp} = \varepsilon_{bp} E_b$ și $\sigma_{pp} = \varepsilon_{pp} E_p$

Se remarcă similaritatea acestor relații cu cele obținute mai înainte în cazul precomprimării prin preîntindere. Pentru a putea utiliza aceleași relații, se definește o valoare fictivă a efortului unitar în armătură σ_{p0} , care este efortul unitar în armătura pretensionată care ar corespunde unui efort unitar nul în beton.

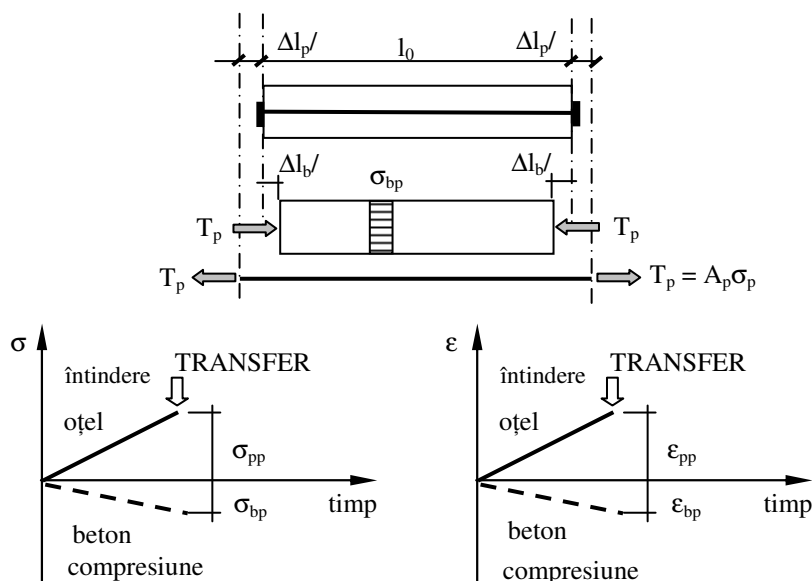


Figure 3.2 – Deformații și eforturi unitare într-un element precomprimat prin postîntindere în faza inițială

3.1.3 Controlul pretensionării

Controlul pretensionării este realizat fie prin măsurarea presiunii în circuitul pompei (cu un manometru), fie prin măsurarea alungirii armăturii (cu un extensometru). În primul caz se obține forța din pompa hidraulică, care este egală cu forța din armătură, iar efortul unitar din armătură este egală cu această forță împărțită la secțiunea armăturii; în cel de-al doilea se obține deformația armăturii și, aplicând legea lui Hooke, efortul unitar.

La procedeul prin preîntindere, valorile măsurate sunt σ_{p0} și ε_{p0} , în timp ce în cazul postîntinderii sunt σ_{pp} și ε_{pp} .

În conclusion, efortul unitar de control σ_{pk} este asociat cu σ_{p0} în cazul preîntinderii și respectiv σ_{pp} în cazul postîntinderii .

Efortul unitar de control σ_{pk} este limitat la valorile următoare (STAS 10107/0-90) :

- pentru armăturile cu $R_{pk} = R_{rk}$ (SBP, SBPA, TBP, etc.) :

$$\sigma_{pk} \leq R_{0,2k} \quad \text{și} \quad \sigma_{pk} \leq R_{pk} \quad (3.7)$$

- pentru armăturile cu $R_{pk} = R_{0,2k}$ (PC 90) :

$$\sigma_{pk} \leq 0,95R_{pk} \quad (3.8)$$

3.2 Tiranți

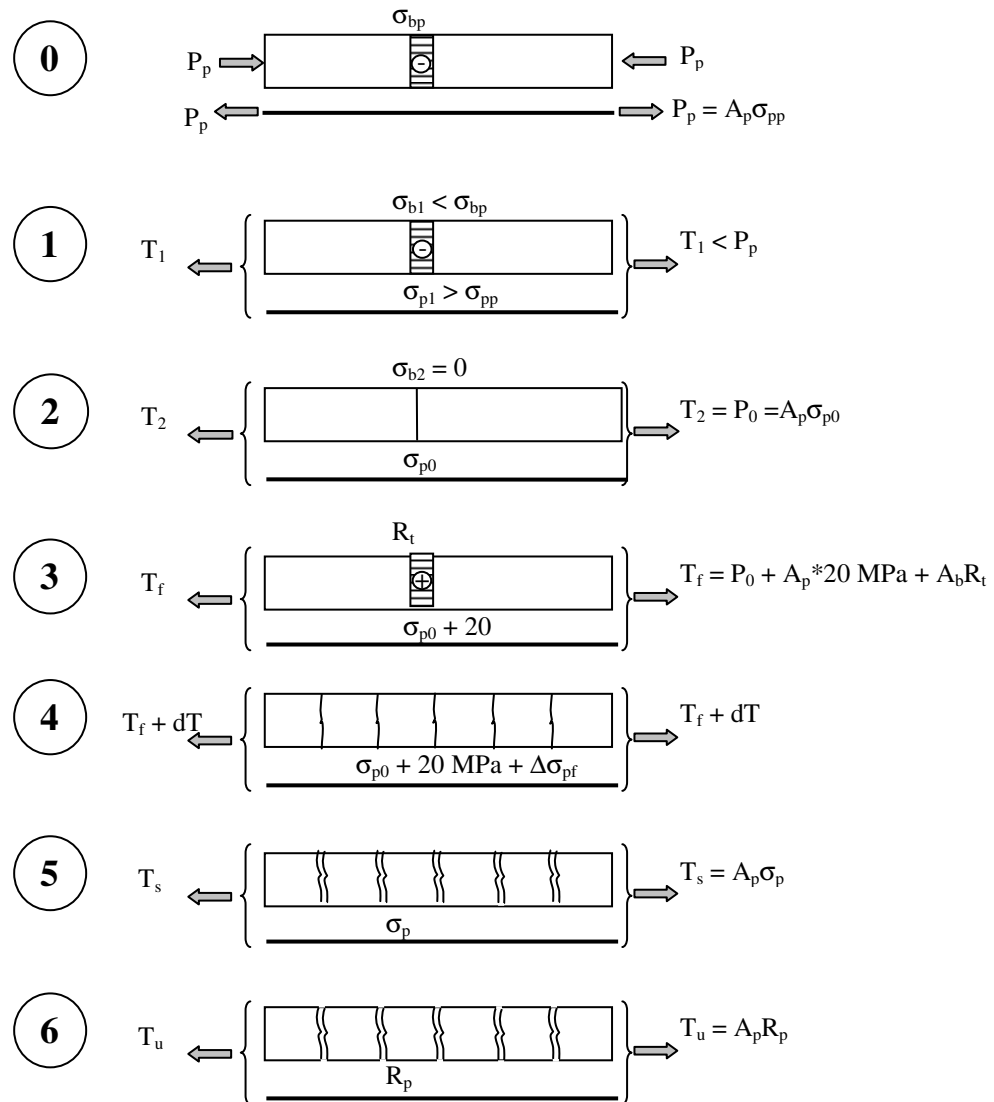


Figura 3.3 – Comportarea unui tirant de beton precomprimat sub încărcări

Situația 0 reprezintă momentul de după transfer : încărcarea exterioară este zero, forța de întindere $A_p \sigma_{pp}$ din armătură și forța de compresiune $A_b \sigma_{bp}$ în beton sunt în echilibru.

Dacă se aplică o forță $T_1 < A_p \sigma_{pp}$ (situația 1), compresiunea în beton scade și întinderea din armătură crește :

$$\sigma_{b1} = \frac{P_0 - T_1}{A_{bi}} = \sigma_{bp} - \frac{T_1}{A_{bi}} \quad (3.9)$$

$$\sigma_{p1} = \sigma_{pp} + n_p \frac{T_1}{A_{bi}} \quad (3.10)$$

Dacă forța aplicată este egală cu P_0 , efortul în beton este zero (decompresiune) : situația 2.

Forța de fisurare este (vezi situația 3) :

$$T_{fis}^{BP} = A_p (\sigma_{p0} + 20MPa) + A_b R_t = P_0 + T_{fis}^{BA} \quad (3.11)$$

În momentul fisurării (situația 4), efortul unitar în armătură crește cu :

$$\Delta\sigma_{pf} = \frac{R_t}{\mu_p} \quad (3.12)$$

unde $\mu_p = \frac{A_p}{A_b}$

În stare fisurată (situația 5), efortul unitar în armătură este :

$$\sigma_{p2} = \frac{T_s}{A_p} \quad (3.13) \quad \text{sau} \quad \sigma_{p0} + \Delta\sigma_p = \frac{T_s}{A_p} \quad (3.14)$$

De unde: $\Delta\sigma_p = \frac{T_s - P_0}{A_p} \quad (3.16)$

La starea ultimă, rezistența tirantului este :

$$T_u = A_p R_p \quad (3.17)$$

Evoluția deformațiilor și eforturilor unitare în armătură și beton este prezentată în figura 3.4.

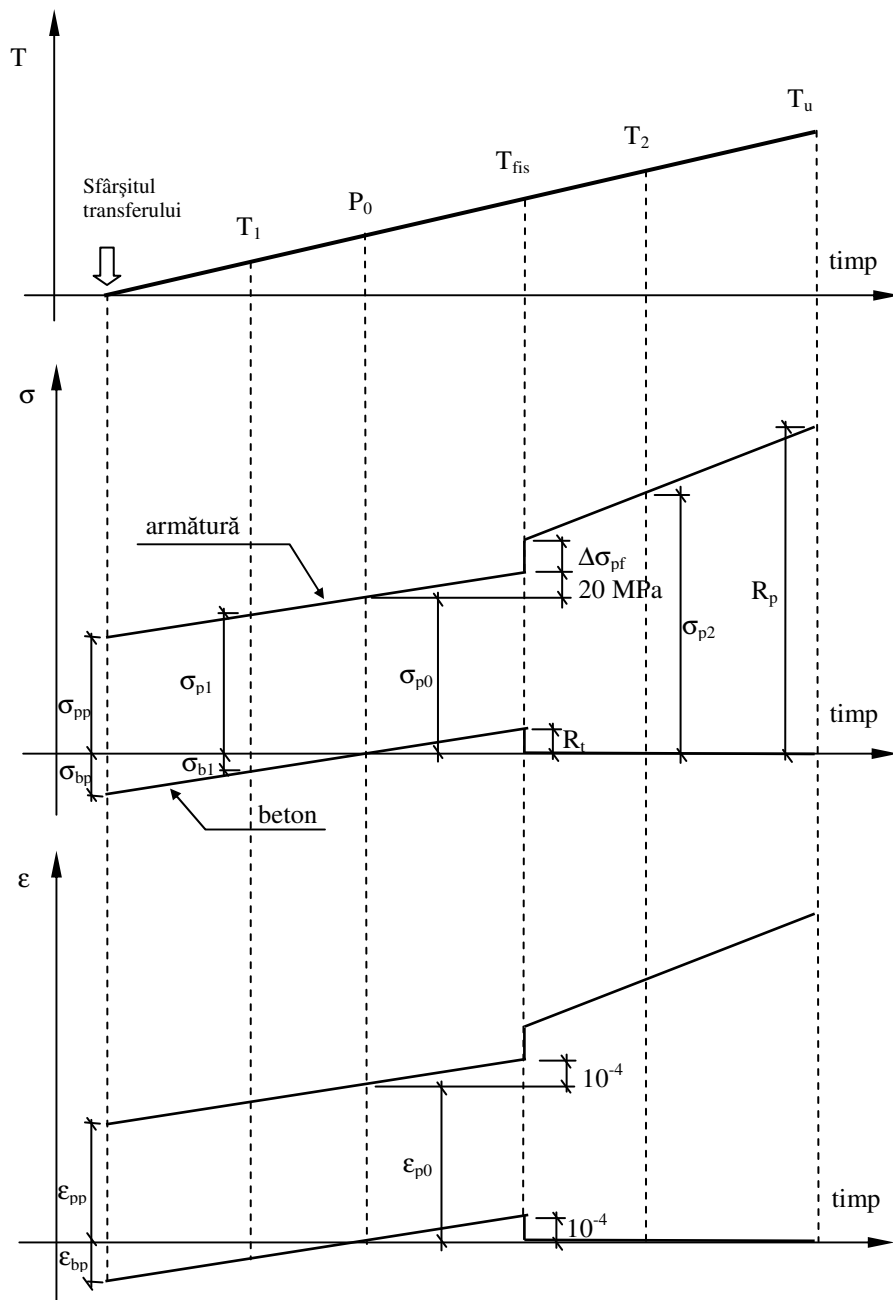


Figura 3.4 – Evoluția eforturilor unitare și a deformațiilor într-un tirant de beton precomprimat

Relația forță-deformație pentru un tirant de beton precomprimat este dată în fig. 3.5.

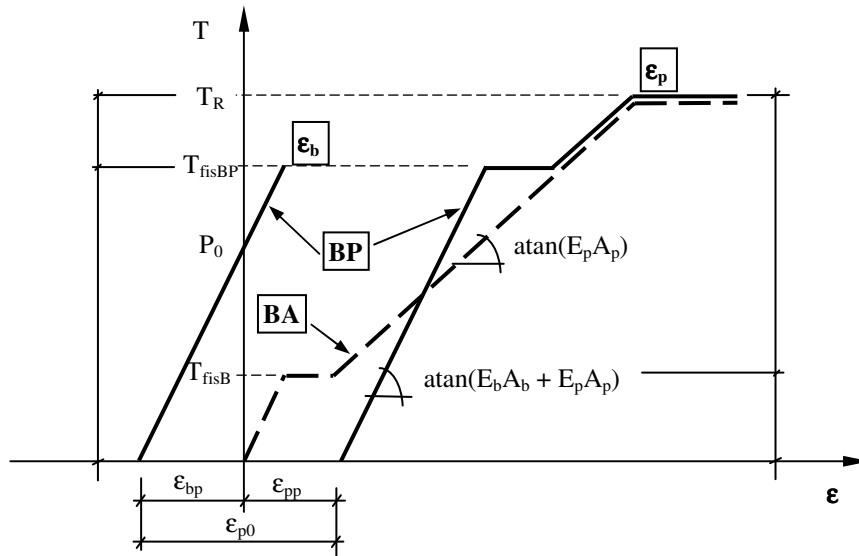


Figura 3.5 – Relația forță-deformație pentru un tirant de beton precomprimat

3.3 Grinzi

Diagramele de deformații și de eforturi unitare sunt date în figura 3.6.

Faza 0 : după transfer

$$\sigma_{bps} = -\frac{P_0}{A_{bi}} + \frac{P_0 e_{0p} - M_{sp}}{W_{bis}} \quad (3.17)$$

$$\sigma_{bpi} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 e_{0p} - M_{sp}}{W_{bi}} \quad (3.18)$$

$$\sigma_{bp} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 e_{0p} - M_{sp}}{I_{bi}} e_{0p} \quad (3.19)$$

$$\sigma_{pp} = \sigma_{p0} - n_p \sigma_{bp} \quad (3.20)$$

Faza 1 : momentul exterior echilibrează momentul datorat precomprimării

$$M_1 = P_0 e_{0p} \quad (3.21)$$

$$\sigma_{bps} = \sigma_{bpi} = \sigma_{bp} = -\frac{P_0}{A_{bi}} \quad (3.22)$$

Faza 2 : efortul unitar în fibra inferioară este nul (decompresie)

Forța axială este situată în acest caz la extremitatea superioară a sîmburelui central :

$$\frac{M_2}{P_0} = e_{0p} + \rho_s \quad (3.23)$$

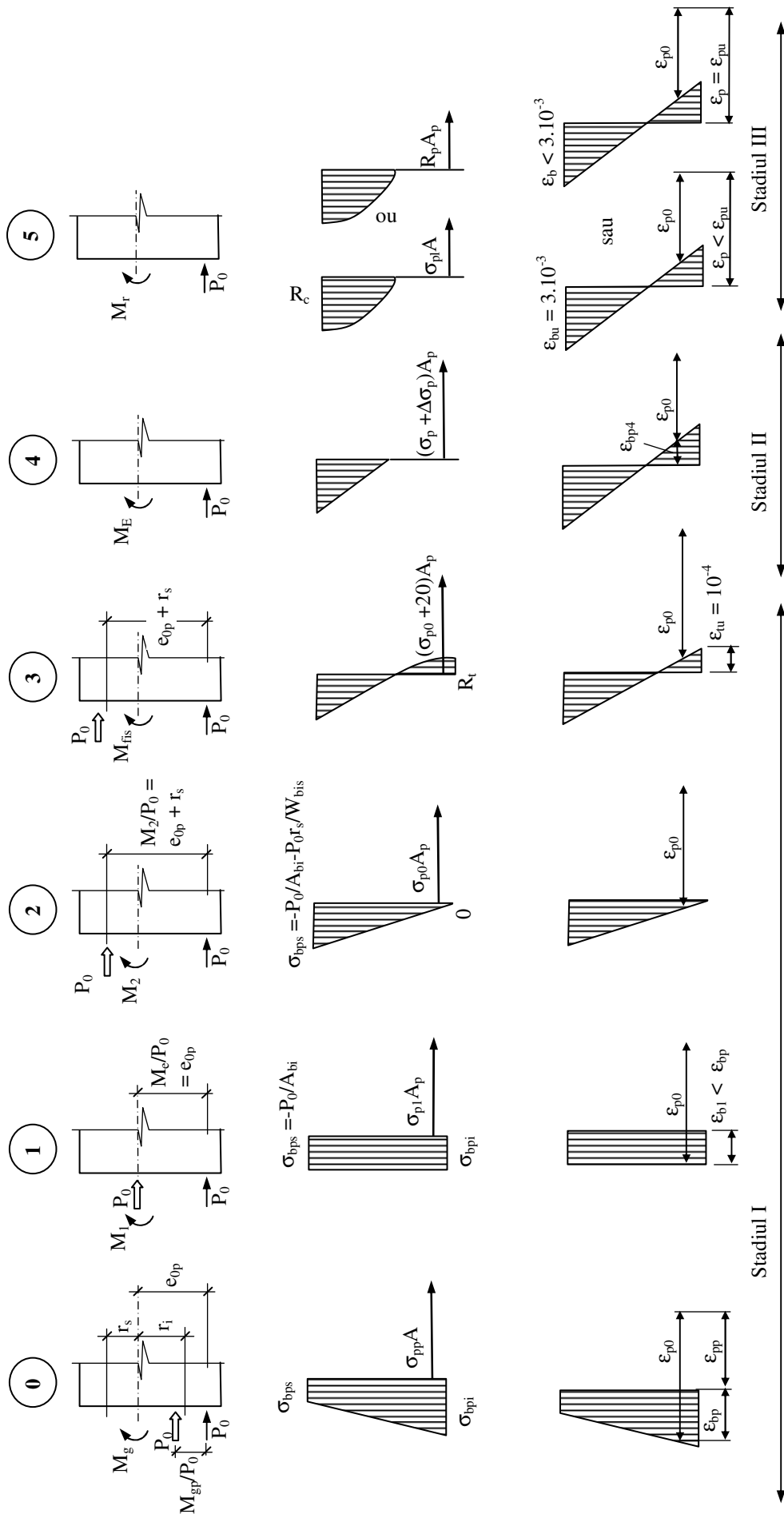


Figura 3.6 – Evoluția eforturilor unitare și a deformațiilor într-un element solicitat la încovoiere

Eforturile unitare în beton la fibra superioară, la fibra inferioară și respectiv la nivelul armăturilor pretensionate sunt :

$$\sigma_{bps} = -\frac{P_0}{A_{bi}} + \frac{P_0 e_{0p} - M_2}{W_{bis}} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 \rho_s}{W_{bis}} = -\frac{P_0}{A_{bi}} \left(1 + \frac{\rho_s}{\rho_i} \right) \quad (3.24)$$

$$\sigma_{bpi} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 e_{0p} - M_2}{W_{bii}} = 0 \quad (3.25)$$

$$\sigma_{bp} = -\frac{P_0}{A_{bi}} - \frac{P_0 e_{0p} - M_2}{I_{bi}} e_{0p} = -\frac{P_0}{A_{bi}} + \frac{P_0 \rho_s}{I_{bi}} e_{0p} \cong 0 \quad (3.26)$$

Faza 3 : pragul de fisurare : efortul unitar în fibra de beton cea mai întinsă este R_t și deformația în aceeași fibră este $\varepsilon_{btu} = 10^{-4}$.

$$M_{fis}^{BP} \cong P_0(e_{0p} + \rho_s) + M_{fis}^{BA} \quad (3.27)$$

$$\sigma_{bp} \cong \sigma_{p0} + 10^{-4} \cdot E_p = \sigma_{p0} + 20MPa \quad (3.28)$$

Observații :

- Momentul de fisurare al elementului de beton precomprimat este mai mare decât momentul de fisurare al elementului de beton armat cu valoarea $P_0(e_{0p} + \rho_s)$. Surplusul este deci proporțional cu :

- Forța de precomprimare P_0
- Excentricitatea lui P_0 față de extremitatea superioară a sâmburelui central.

- Până aici secțiunea nu era fisurată și se puteau utiliza les relațiile din Rezistența materialelor pentru secțiunea echivalentă omogenă.

Faza 4 : beton întins fisurate (stadiul II)

După fisurare se produce o creștere a deformației și efortului din armătură :

$$\sigma_p = \sigma_{p0} + \Delta\varepsilon_p \cdot E_p = \sigma_{p0} + \Delta\sigma_p \quad (3.29)$$

Soluția problemei (eforturile în beton și armătură) se obțin ca pentru beton armat în stadiul II, punând condițiile de echilibru, de compatibilitate geometrică (ipoteza secțiunilor plane) și scriind legile constitutive ale materialelor. Trebuie totuși subliniate particularitățile următoare :

- Forța de precomprimare este considerată ca forță exterioară
- Coeficientul de echivalență trebuie să țină cont de curegera lentă a betonului

$$n_{pII} = \frac{E_p}{E_b} (1 + 0.8\nu\bar{\varphi}).$$

Relațiile de calcul sunt următoarele :

$$\int_0^x b_y \sigma_b dy = A_p (\Delta\sigma_p + \bar{\sigma}_{p0}) \quad (3.30)$$

$$M_E = z \cdot A_p (\Delta\sigma_p + \bar{\sigma}_{p0}) \quad (3.31)$$

$$\text{cu : } z = \frac{\int_0^x y b_y \sigma_b dy}{\int_0^x b_y \sigma_b dy} + h_0 - x \quad (3.32)$$

$$\text{\u0219i : } \frac{\Delta \sigma_p}{\sigma_b^{\max}} = \frac{h_0 - x}{x} \cdot n_p (1 + 0,8 \bar{\varphi}_v) \quad (3.33)$$

Faza 5 : Ruperea (stadiul III)

Ruperea este « fragilă » (fără deformații plastice importante în armătură). Pot apărea două situații :

- Ruperea prin betonul comprimat ($\varepsilon_{b, \max} = \varepsilon_{bu} = 0.003$), fără ca armătura să-și atingă rezistența $\sigma_{pl} < R_p$;
- Ruperea prin armătură $\sigma_p = R_p$,.

Calculul este similar cu cel pentru secțiunea de beton armat (vezi [4]), cu anumite particularități particulare :

- Trebuie ținut cont de deformația inițială datorată pretensionării (ε_{p0}) în armătură și
- Trebuie ținut cont de legea constitutivă a armăturii, care nu prezintă un palier plastic ca armăturile pentru beton armat.

Concluzie :

Precomprimarea ridică pragul de fisurare cu mărimea $P_0(e_{0p} + \rho_s)$. Aceasta face ca elementul să lucreze fără fisuri sub încărcările de exploatare.