

PRINCIPIILE METODEI STĂRILOR LIMITĂ – MSL

Cerințe fundamentale:

- rezistența structurală și siguranță
- siguranță în exploatare
- durabilitate

Principii fundamentale:

- luarea în considerare a diferitelor **stări limită** pentru construcții definite prin criterii de rezistență sau de serviciu
- folosirea diferiților **coeficienți parțiali de siguranță** care iau în considerare valorile variabile ale acțiunilor și rezistențelor

PROIECTAREA LA STĂRI LIMITĂ CU METODA COEFICIENȚILOR PARȚIALI

Parametrii de calcul:

- încărcări; caracteristicile materialelor (rezistențe, etc.); caracteristici geometrice; dimensiunile elementelor structurale; etc.
- valori caracteristice “**k**” :
 - rezistențele caracteristice ale materialelor – valori minime garantate statistic cu o anumită probabilitate
 - intensitățile caracteristice ale acțiunilor – valori maxime statistic
- coeficienți parțiali de siguranță (uzual > 1.0): “ γ ” sau “ ψ ” pentru încărcări
“ γ ” pentru rezistențe
- valori de calcul “**d**” pentru rezistențe, încărcări, etc. se obțin din valorile caracteristice multiplicat defavorabil prin coeficienții parțiali de siguranță:
 - pentru încărcări: $F_d = F_k \cdot \gamma$ (uzual $\gamma > 1.0$)
 \Rightarrow efectul încărcării este E_d (efort exterior de proiectare)
 - pentru rezistențe: $X_d = X_k / \gamma$ (uzual $\gamma > 1.0$)
 \Rightarrow rezistența structurală R_d (capacitatea interioară de rezistență)

SITUAȚII DE PROIECTARE

Toate situațiile posibile de proiectare ale structurii trebuie luate în considerare:

- situații de proiectare persistente – condiții normale de serviciu
- situații de proiectare tranzitorii – condiții temporare (ex. pe durata execuției sau reparării)
- situații de proiectare accidentale – condiții excepționale (ex. foc, explozii, impact, cedări locale)
- situația de proiectare seismică – structură sollicitată dintr-un eveniment seismic

STĂRI LIMITĂ

Situația în care o structură sau elemente structurale încetează de a mai îndeplini cerințele la care a fost proiectată.

STĂRI LIMITĂ ULTIME – SLU care se referă la siguranța oamenilor și/sau a structurii.

- calcul în STADIUL III de lucru: stadiul ultim, stadiul de rupere
- **SLU** care trebuie verificate unde sunt relevante:
 - **EQU** – pierderea echilibrului static al structurii sau a oricărei părți structurale, considerate ca și corp rigid
 - **STR** – ruperea sau cedarea prin deformații excesive, transformarea parțială sau totală a structurii în mecanism, pierderea de stabilitate a structurii sau a oricărei părți structurale
 - **GEO** – cedarea sau deformarea excesivă a pământului
 - **FAT** – cedarea cauzată de oboseală

STĂRI LIMITĂ ULTIME – SLU

$$E_d \leq R_d$$

E_d – valoarea de calcul a efectului încărcărilor de calcul asupra structurii
(ex. efort exterior)

R_d – valoarea de calcul a capacității de rezistență dată de valorile de calcul ale rezistențelor (ex. efort interior)

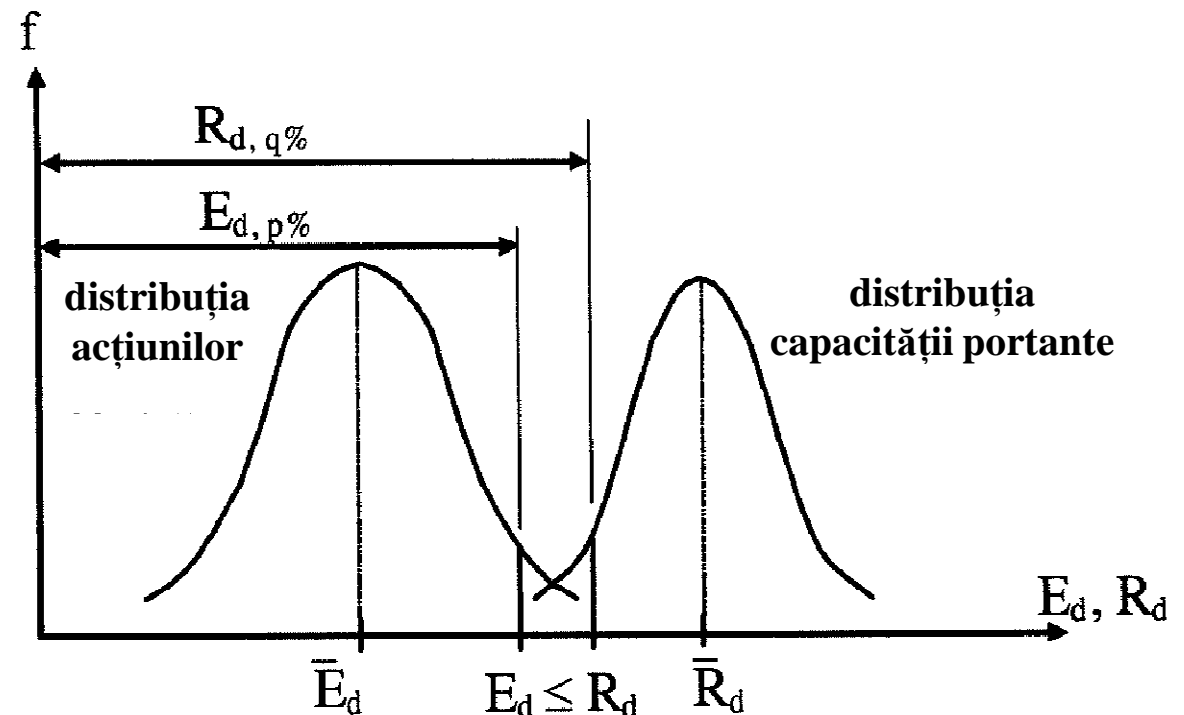
- pentru încovoiere:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

- pentru tăiere:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Siguranța la starea limită de rezistență –
abordare probabilistică



STĂRI LIMITĂ DE SERVICIU – SLS care se referă la:

- funcționarea structurii sau elementelor structurale în condiții normale
- confortul oamenilor
- aspectul lucrărilor de construcții

Calculul în STADIUL II de lucru: stadiul de serviciu

Verificările la SLS constau în:

- limitare tensiunilor:
 - din betonul comprimat pt. evitarea micro-fisurării
 - din armăturile întinse pt. evitarea deformațiilor excesive (deschiderea fisurilor, săgeți)
- controlul fisurării – limitarea deschiderii fisurilor
- controlul deformațiilor sau deplasărilor – limitarea săgeților

$$E_d \leq C_d$$

E_d – valoarea de calcul a efectului încărcărilor de calcul (ex. săgeți, deschiderea fisurilor)

C_d – limita de calcul corespunzătoare verificării (ex. limita săgeților, limita deschiderii fisurilor)

CLASIFICAREA ACȚIUNILOR

Acțiunile **F** sunt clasificate funcție de variația în timp:

Denumirea	Caracter	Simbol	Tipul acțiunii
ACȚIUNI PERMANENTE	Variația în timp ne semnificativă	G	- greutatea proprii - contracție beton, tasări inegale - precomprimare
ACȚIUNI VARIABLE	Variația în timp semnificativă ca durată sau intensitate	Q	- încărcări utile de exploatare
			- zăpadă
			- vânt
ACȚIUNI ACCIDENTALE	Intensitate semnificativă pe durată scurtă	A	- împingerea pământului
			- explozii
			- impact
			- cutremure

Acțiunile sunt clasificate și funcție de:

- origine (directă sau indirectă)
- poziție în spațiu (fixă sau mobilă)
- natură și/sau răspuns structural (static sau dinamic)

COMBINAȚII DE ACȚIUNI LA SLU

- COMBINAȚII DE ACȚIUNI ÎN SITUAȚIILE DE PROIECTARE PERSISTENTE SAU TRANZITORII (COMBINAȚII FUNDAMENTALE):

$$\sum \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

unde:

P – efectul precomprimării

$Q_{k,1}$ – acțiunea variabilă cea mai importantă

$Q_{k,i}$ – restul acțiunilor variabile

frecvent:

$$1.35 \sum G_{k,i} + \gamma_P P + 1.5 Q_{k,1} + 1.5 \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- COMBINAȚII DE ACȚIUNI ÎN SITUAȚIILE DE PROIECTARE

ACCIDENTALE: $\sum G_{k,i} + P + (\psi_{1,1} \text{ or } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} + A_d$

unde:

A_d – acțiune accidentală (dar nu seism)

- COMBINAȚII DE ACȚIUNI ÎN SITUAȚIILE DE PROIECTARE

SEISMICE : $\sum G_{k,i} + P + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} + A_{Ed}$

unde:

A_{Ed} – acțiunea seismică de calcul

$\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ – acțiuni gravitaționale variabile care pot acționa simultan cu seismul

COMBINAȚII DE ACȚIUNI LA SLS

- COMBINAȚII CARACTERISTICE: $\Sigma G_{k,i} + P + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$
- COMBINAȚII FRECVENTE: $\Sigma G_{k,i} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$
- COMBINATII CVASIPERMANENTE:
- Combinații fără încărcări accidentale (seism):
 $\Sigma G_{k,i} + P + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$
- Combinații cu acțiunea seismică: $\Sigma G_{k,i} + P + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i} + 0.6 A_{ed}$
- Coeficienții: $\psi_0, \psi_1, \psi_2 \leq 1.0$ iau în considerare posibilitatea ca acțiunile variabile să apară simultan pe structură

CLASA BETONULUI

- Calitatea betonului este dată de clasa clasa de rezistență.
- Clasa betonului = valoarea rezistenței caracteristice la compresiune determinată la 28 zile de la turnare sub care se pot afla 5 % dintre valorile experimentale

- Clasa betonului se determină experimental pe cilindri $f_{ck\ cil}$ sau cuburi $f_{ck\ cub}$

- Rezistența caracteristică la compresiune:

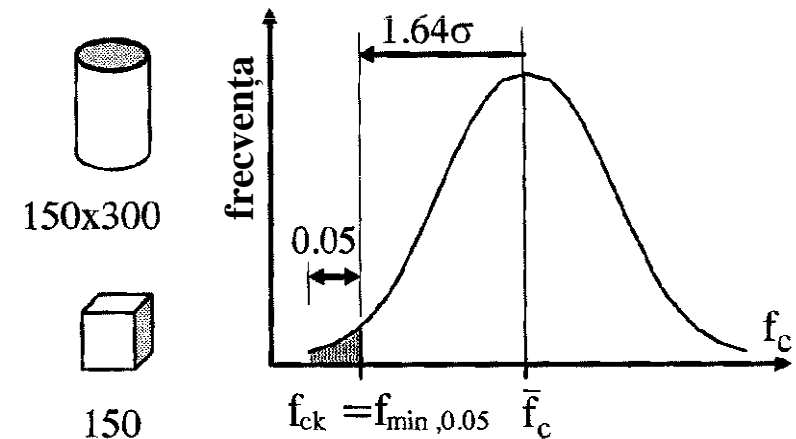
$$f_{ck\ cil} = f_{\min\ 0.05} = (1 - 1.64 c_v) \bar{f}_{cil} \approx 0.75 \bar{f}_{cil}$$

$$f_{ck\ cub} = f_{\min\ 0.05} = (1 - 1.64 c_v) \bar{f}_{cub} \approx 0.75 \bar{f}_{cub}$$

unde: \bar{f}_{cil} , \bar{f}_{cub} – rezistențe medii la compresiune, pe cilindrii sau cuburi

$c_v = 0.15$ coeficient de variație al rezistenței la compr.

$$f_{ck\ cil} \approx 0.8 f_{ck\ cub}$$



REZISTENȚELE BETONULUI

- Rezistența caracteristică a betonului la compresiune: $f_{ck} = f_{ck\ cil}$
- Rezistența medie a betonului la compresiune: $f_{cm} = f_{ck\ cil} + 8$ [MPa]
- Rezistența betonului la întindere f_{ct} este obținută prin teste la întindere axială sau:
 - din rezistența la compresiune: $f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3}$
 $f_{ctk\ 0.05} = 0.7 f_{ctm}$ $f_{ctk\ 0.95} = 1.3 f_{ctm}$
 - din rezistența la întindere din despicare: $f_{ct} = 0.9 f_{ct\ sp}$
 - din rezistența la întindere din încovoiere:
 - $f_{ct\ fl} = \max \{ (1.6 - h/1000) f_{ct} ; f_{ct} \}$
 h [mm] – depth of C.S.
- Rezistența betonului la compresiune (valoare medie) la diferite vârste t :
 $f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$
- Rezistența betonului la întindere (valoare medie) la diferite vârste t :
 $f_{cm}(t) = (\beta_{cc}(t))^\alpha f_{ctm}$
 unde $\beta_{cc}(t)$ și α sunt funcție de vârsta betonului t .

REZISTENȚELE BETONULUI

- Rezistența de calcul a betonului la compresiune: $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$
 - Rezistența de calcul a betonului la întindere: $f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk 0.05} / \gamma_c$
- unde: γ_c – coeficient parțial de siguranță al betonului

Valori recomandate pentru coeficienții parțiali de siguranță ai betonului și oțelului la SLU

Situația de proiectare	γ_c , beton	γ_s , oțel pentru beton armat	γ_s , oțel pentru beton precomprimat
Persistentă Tranzitorie	1.5	1.15	1.15
Accidentală	1.2	1.0	1.0

α_{cc} și α_{ct}

– coeficienți pt. efectele de lungă durată asupra rezistențelor și efectele defavorabile ale încărcărilor
= 1.0 valoare recomandată

În final:

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

$$f_{ctd} = f_{ctk 0.05} / \gamma_c$$

DEFORMAȚIILE BETONULUI – DEFORMAȚII ELASTICE

- Modulul de elasticitate al betonului la 28 zile – modulul secant determinat exp. între limitele $\sigma_c = 0 \dots 0.4 f_{ck}$:

$$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^{0.3}$$

- Modulul de elasticitate al betonului la diferite vârste t :

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t) / f_{cm})^{0.3} E_{cm}$$

- Coeficientul lui Poisson:

$$\nu = 0.2 \quad \text{pt. beton nefisurat}$$

$$\nu = 0 \quad \text{pt. beton fisurat}$$

- Coeficientul de dilatare termică a betonului: $\alpha = 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

DEFORMAȚIILE BETONULUI – CURGERE LENTĂ ȘI CONTRACȚIE

- Luată în considerare în verificările la SLS.
- Deformația din curgere lentă $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$ la timpul $t = \infty$ pentru o tensiune de compresiune constantă σ_c aplicată betonului la vârsta t_0 :

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \phi(\infty, t_0) \cdot (\sigma_c / E_c)$$

unde:

$$E_c = 1.05 E_{cm} - \text{modulul tangent}$$

$\phi(\infty, t_0)$ – coeficient de curgere liniară, conform normelor, pt. $\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}(t_0)$

sau $\phi_K(\infty, t_0)$ – coeficient de curgere lentă neliniară, conform normelor, pt. $\sigma_c > 0.45 f_{ck}(t_0)$

- Deformația specifică totală din contracție: $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$
- unde:
- ε_{cd} – contracția de uscarea liberă, conf. normelor
 - ε_{ca} – contracția de întărire (endogenă), conform normelor

DIAGRAMA CARACTERISTICĂ EFORT – DEFORMAȚIE A BETONULUI PENTRU PROIECTARE

- Pentru analize structurale neliniare:

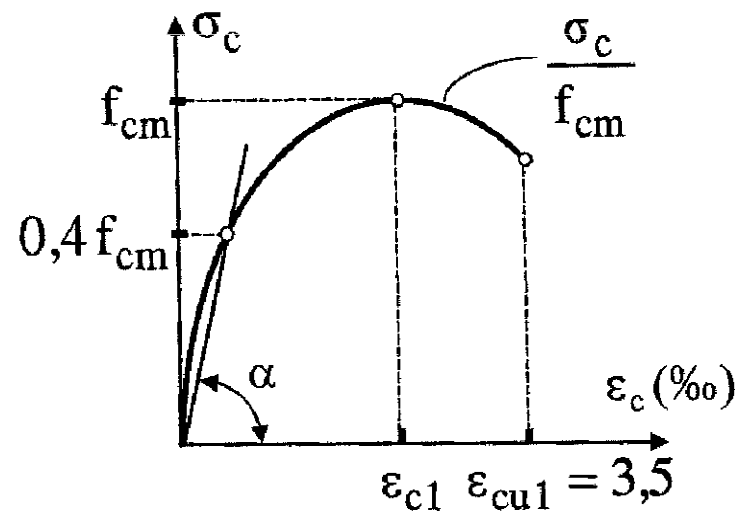


Diagrama caracteristică $\sigma_c - \varepsilon_c$ de comportare a betonului
(diagrama de comportare reală)

ε_{c1} – deformația specifică corespunzătoare atingerii rezistenței

ε_{cu1} – deformația specifică ultimă

DIAGRAMA CARACTERISTICĂ EFORT – DEFORMAȚIE A BETONULUI PENTRU PROIECTARE

- Pentru proiectarea secțiunilor din beton armat:

Diagrama parabolă-dreptunghi $\sigma_c - \varepsilon_c$ a betonului la compresiune (diagramă simplificată)

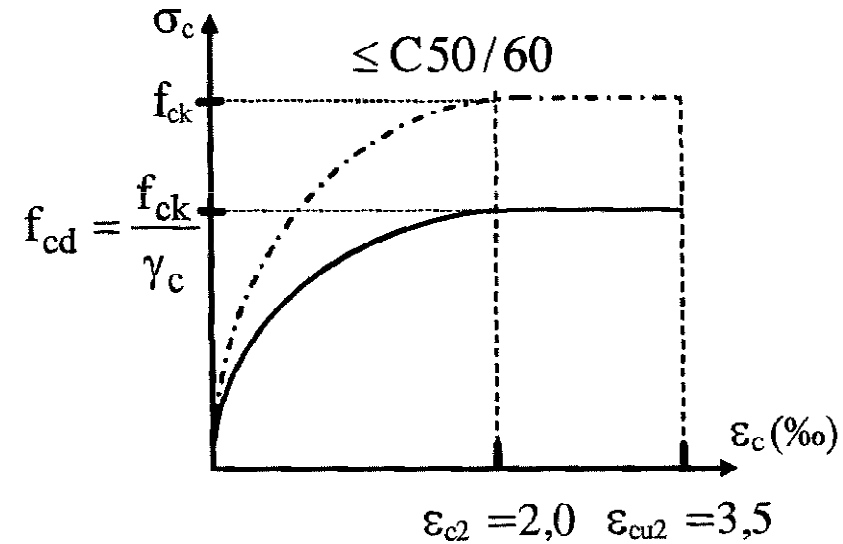


Diagrama biliniară $\sigma_c - \varepsilon_c$ (diagramă simplificată)

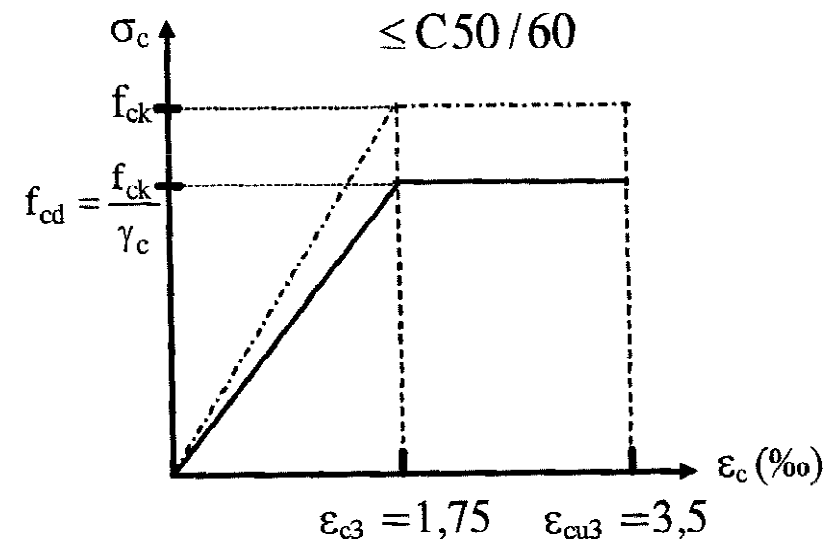
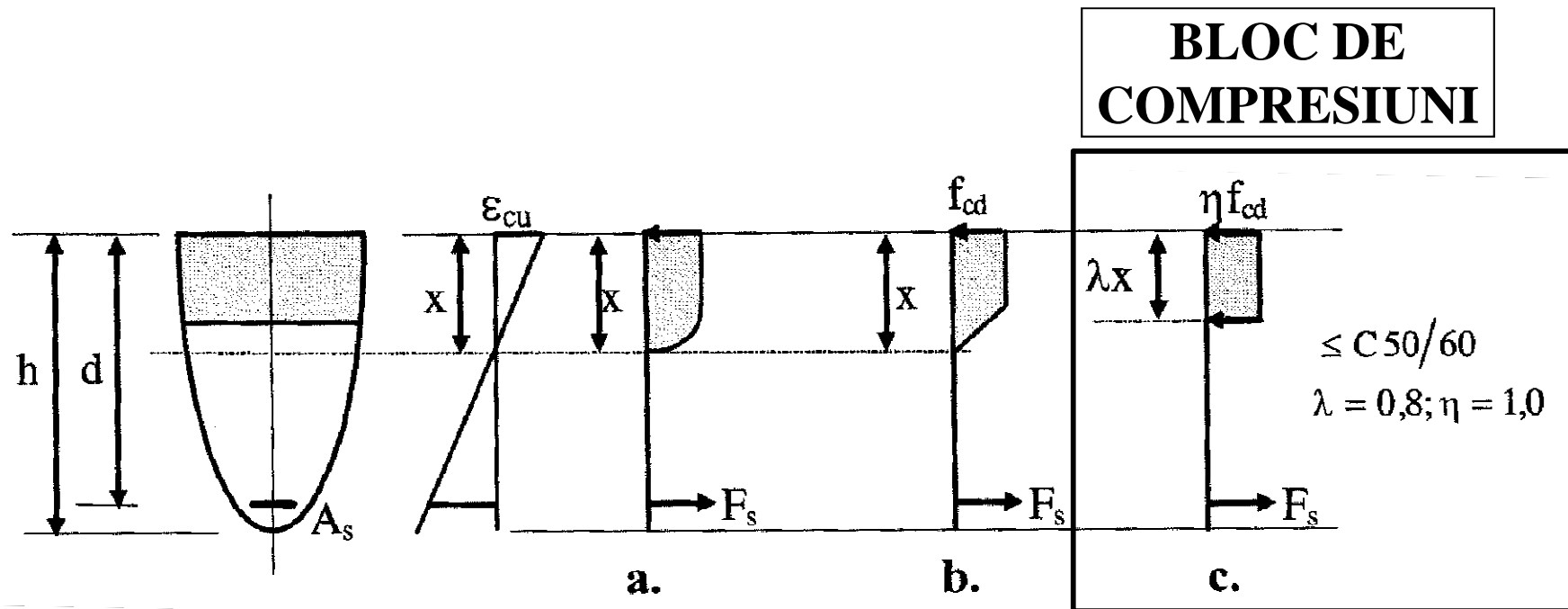


DIAGRAMA CARACTERISTICĂ EFORT – DEFORMAȚIE A BETONULUI PENTRU PROIECTARE

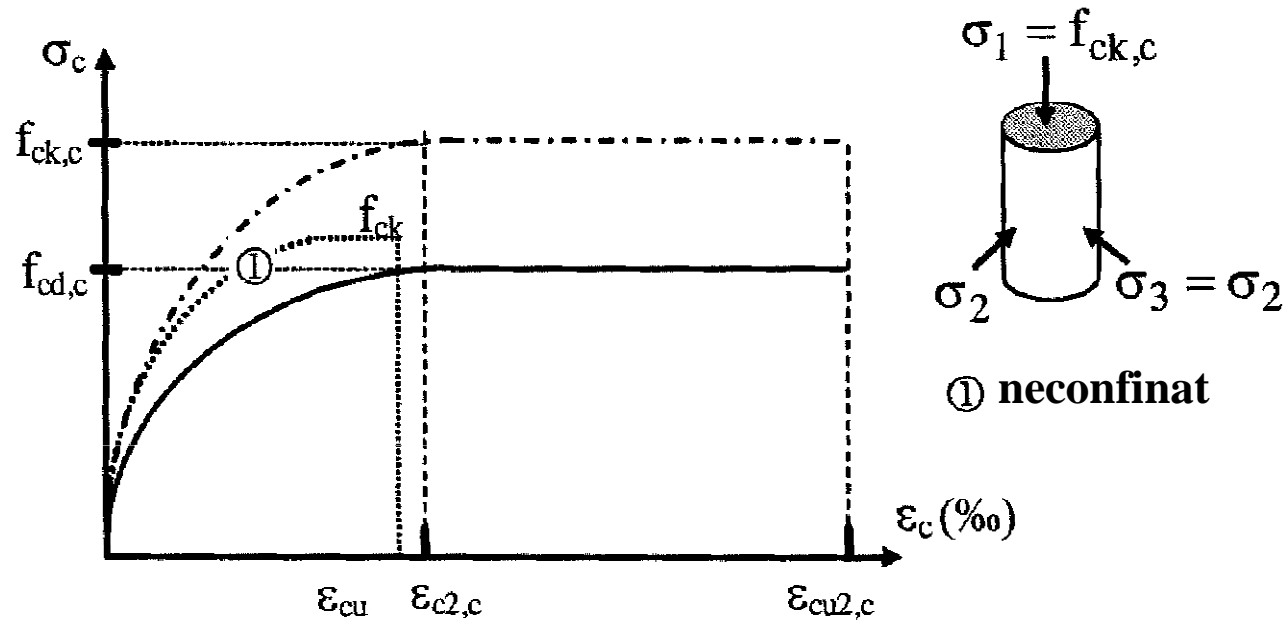
- Distribuția eforturilor în zona comprimată de beton:



DISTRIBUȚIA PENTRU PROIECTARE

DIAGRAMA CARACTERISTICĂ EFORT – DEFORMAȚIE A BETONULUI PENTRU PROIECTARE

- Diagrama caracteristică efort-deformație pentru betonul confinat



ARMĂTURI PENTRU BETON ARMAT

- Rezistența caracteristică (limita de curgere): f_{yk} – dată de norme

- Rezistența de calcul (limita de curgere):

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

unde: γ_s – coeficient parțial de siguranță pentru oțel

- În proiectare se folosește diagrama de comportare:

