Note de curs

Dr.ing. NAGY-GYÖRGY Tamás

profesor

E-mail:
tamas.nagy-gyorgy@upt.ro

Tel:
+40 256 403 935

Web:
http://www.ct.upt.ro/users/TamasNagyGyorgy/index.htm

Birou:
A219

4.1 ANCORAREA ARMĂTURII ÎN BETON

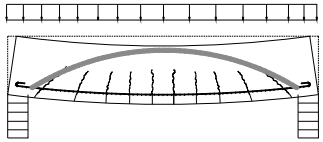
4.2 STADIILE DE LUCRU

4.3 DURABILITATEA BETONULUI ARMAT

Anchorage / Ancorarea

Ancorarea armăturii în beton

Betonul nu rezistă la întindere, de aceea se asociază cu armăturile din oţel. După fisurarea betonului, armătura are rolul de a prelua eforturile de întindere din elementele de rezistenţă.



⇒ **Trebuie asigurată conlucrarea** betonului cu armătura, adică împiedicarea lunecării armăturii în beton, printr-o **ancorare** corespunzătoare.

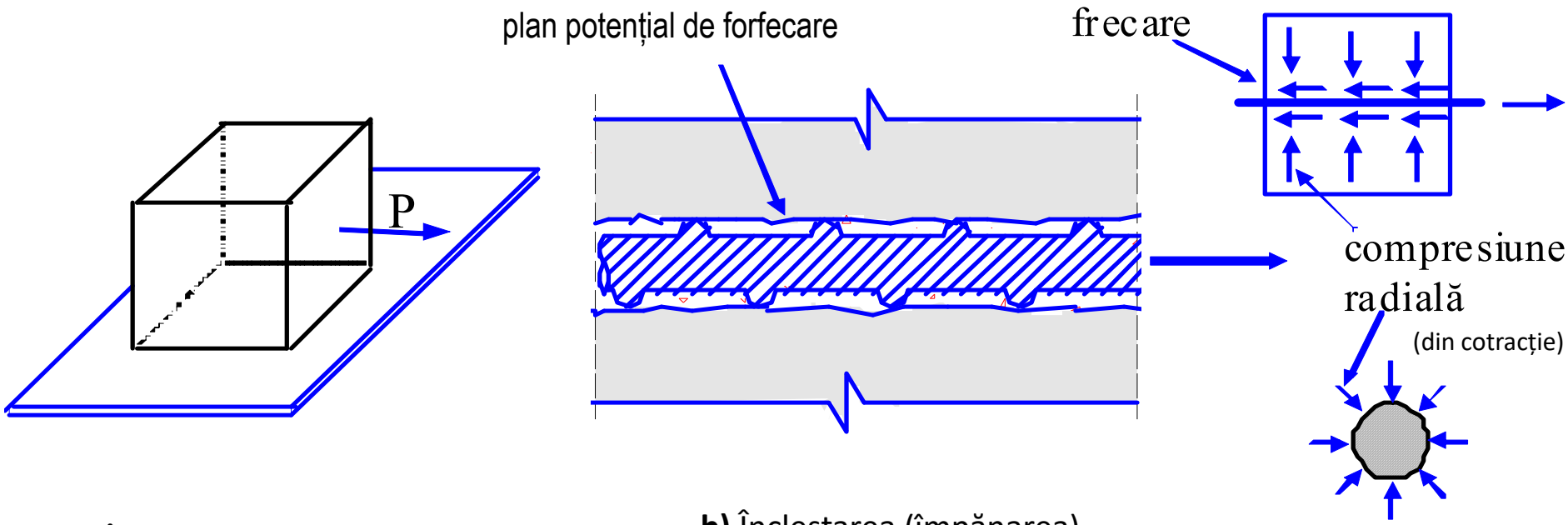
Ancorarea armăturii se realizează prin:

- **aderenţă**
- **forma capetelor barelor (cârlige)**
- **bare transversale sudate**
- **ancore speciale.**

Anchorage / Ancorarea

Bond / Aderența

Aderența = **legătura** dintre **armătură** şi **beton**, creată la suprafaţa de contact, prin întărirea betonului; este definită de **efortul unitar tangenţial de aderenţă**, f_b

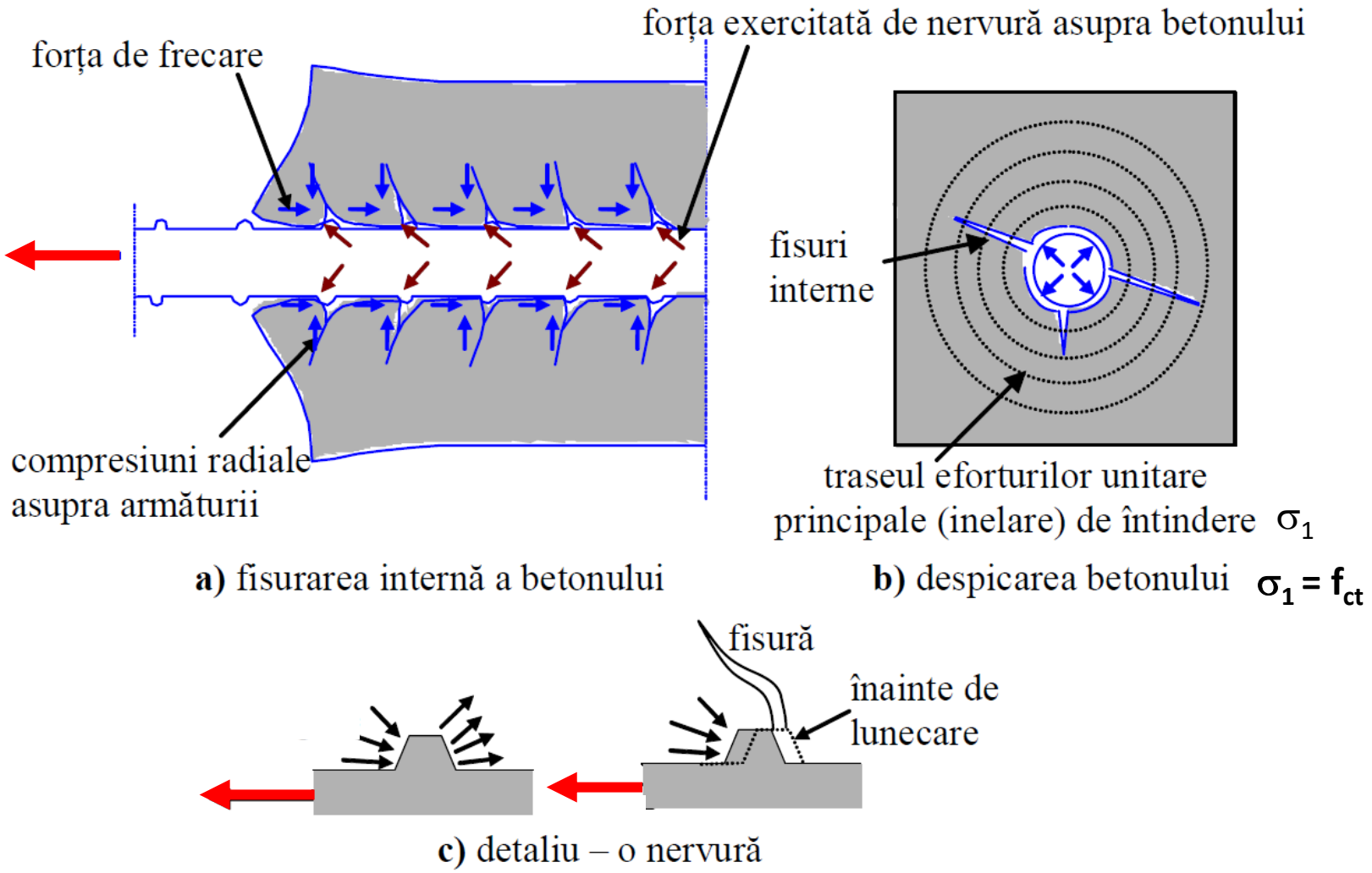


a) Încleierea (adeziunea)
≈10%

b) Încleștarea (împănarea)
≈70%

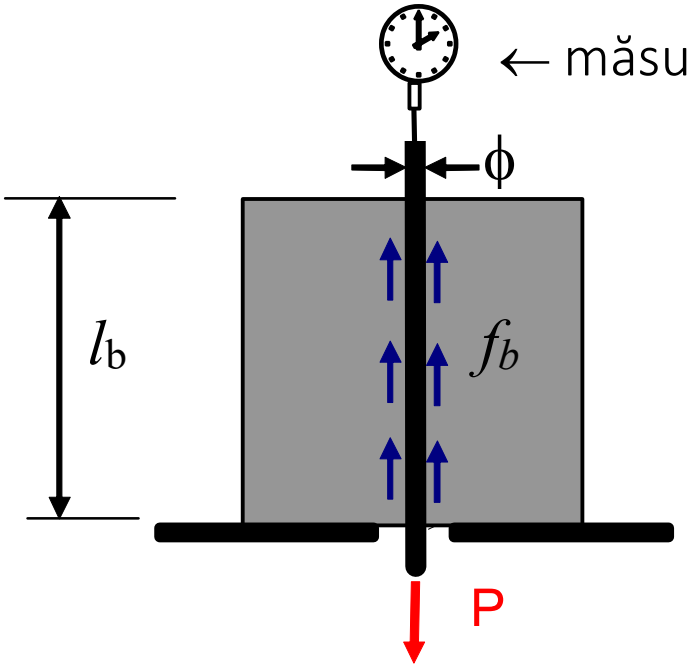
c) Frecarea
≈20%

Modelul de aderență dintre beton și armătură cu profil periodic

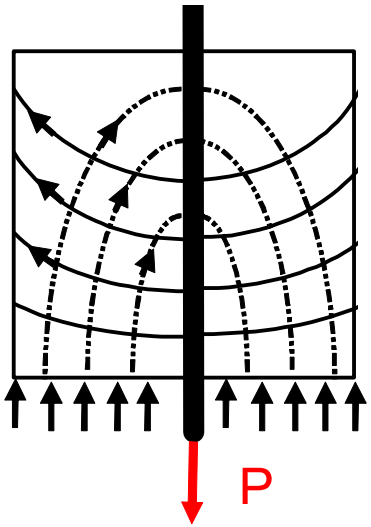


Determinarea efortului de aderență → proba de smulgere

Modul de cedare
→ **Lunecarea** armăturii (bare cu suprafața netedă)
→ **Despicarea** betonului printr-o fisură radială (bare profilate)



modelul experimental-
pentru test prin smulgere



starea de tensiune

Eforturi unitare de aderență

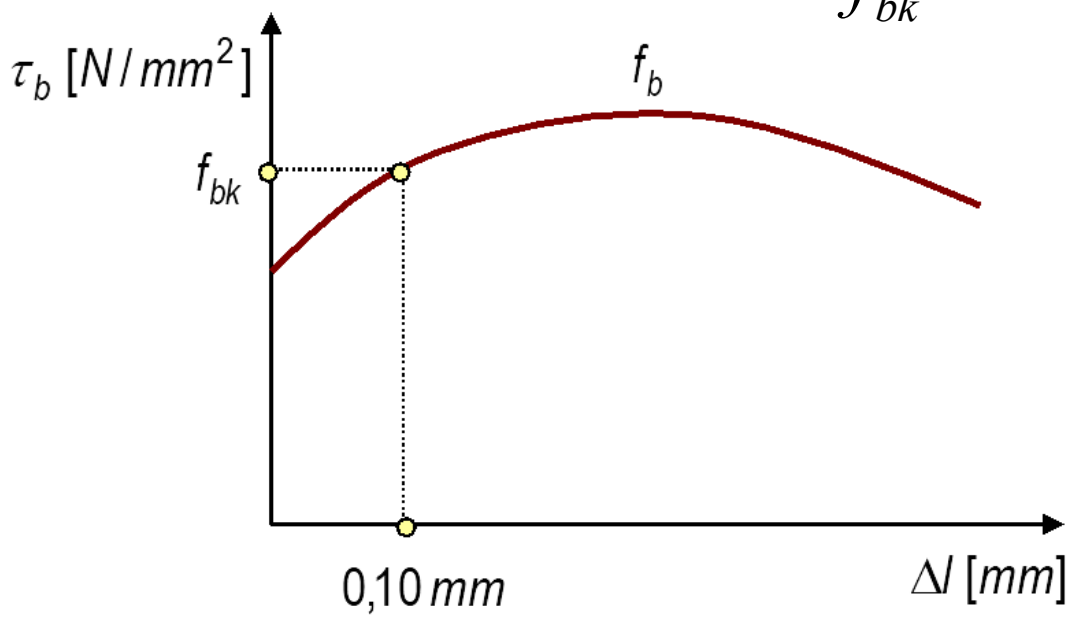
$$f_b = \frac{P}{\pi \cdot \phi \cdot l_b}$$

$$\sigma_1 \rightarrow f_{ct}$$

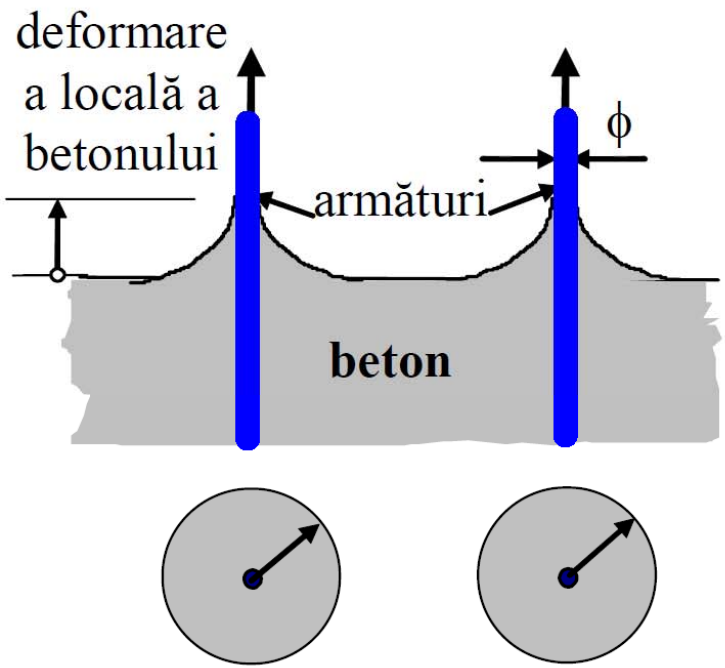
Determinarea efortului de aderență → proba de smulgere

Modul de cedare
→ **Lunecarea** armăturii (bare cu suprafața netedă)
→ **Despicarea** betonului printr-o fisură radială (bare profilate)

$$f_{bk} = \frac{P(\Delta l = 0.10mm)}{\pi \cdot \phi \cdot l_b}$$

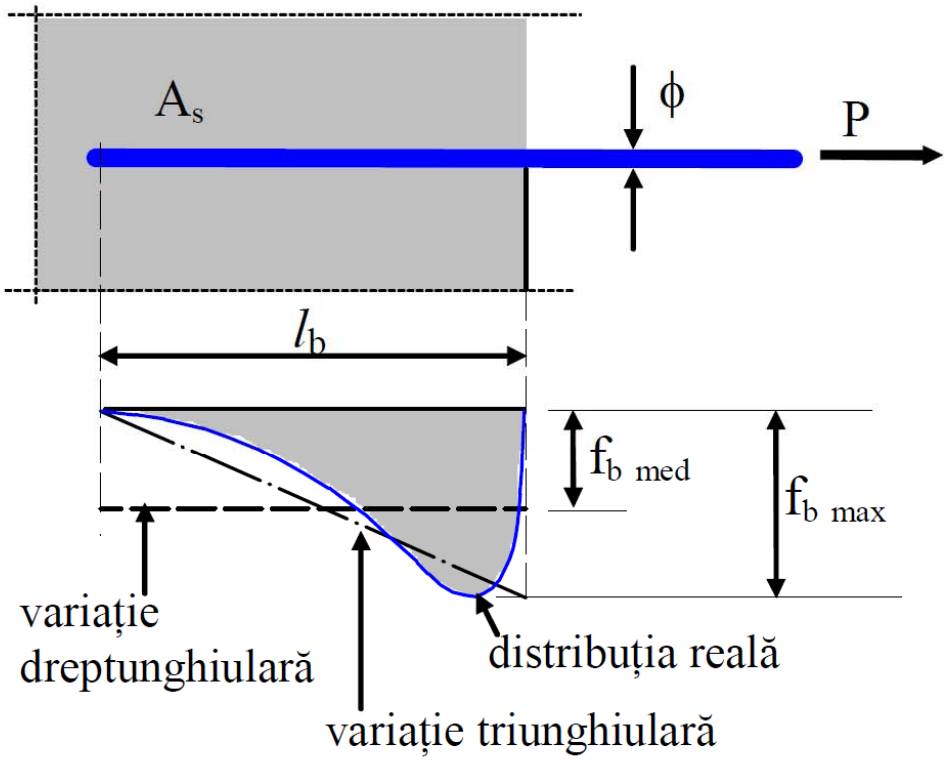


Repartiția efortului unitar de aderență



Zona de influență
r = (10…15)ϕ

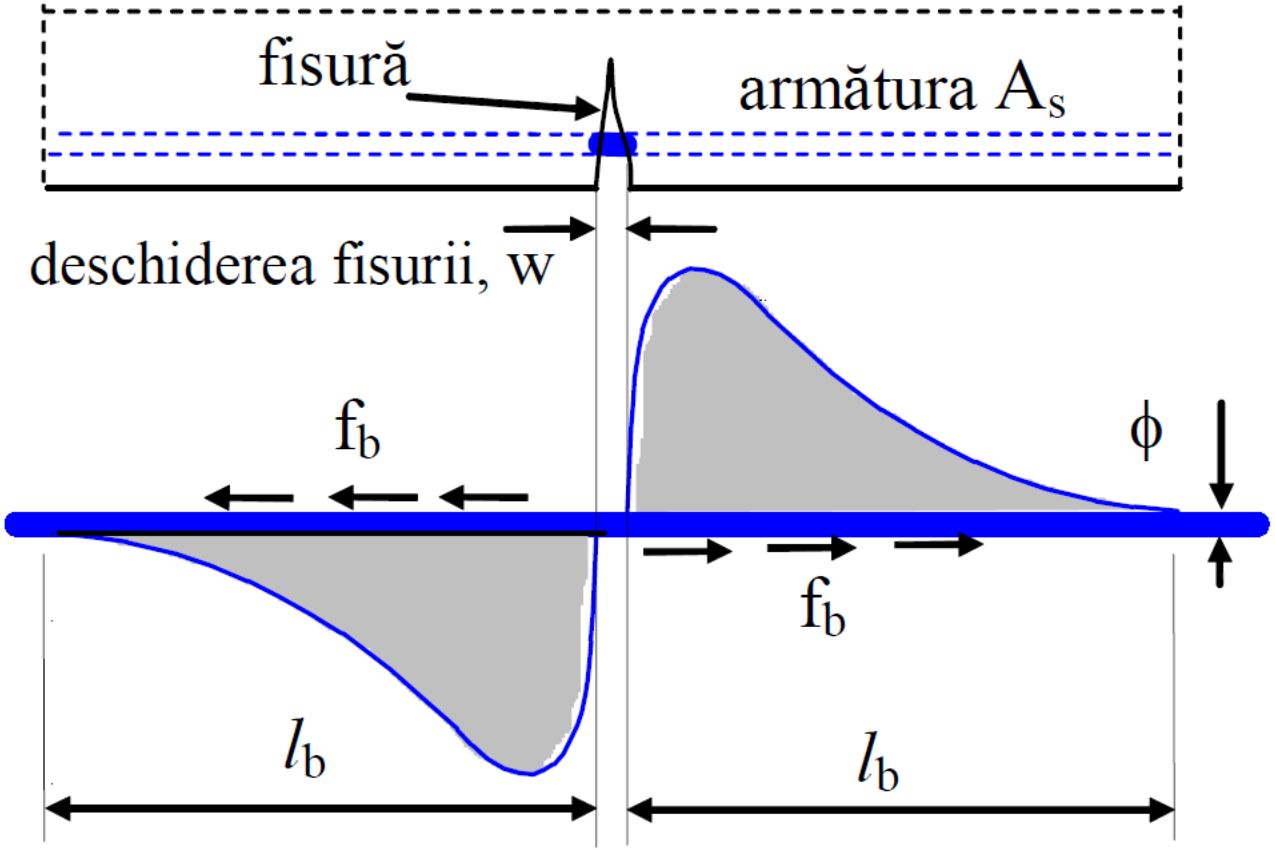
b. Repartiția transversală



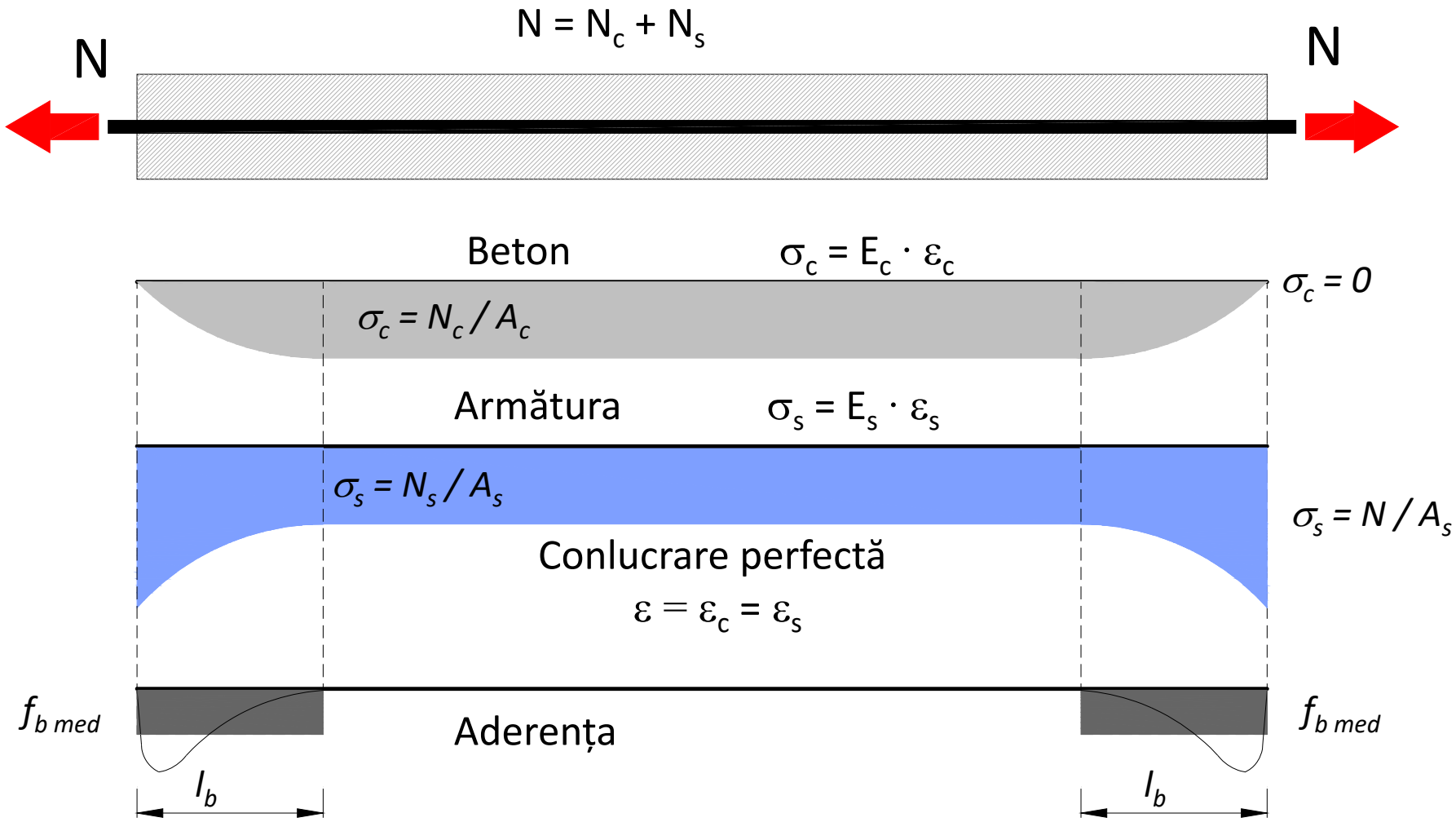
c. Repartiția în lungul barei

$$f_{b\ med} = \frac{P}{\pi \cdot \phi \cdot l_b}$$

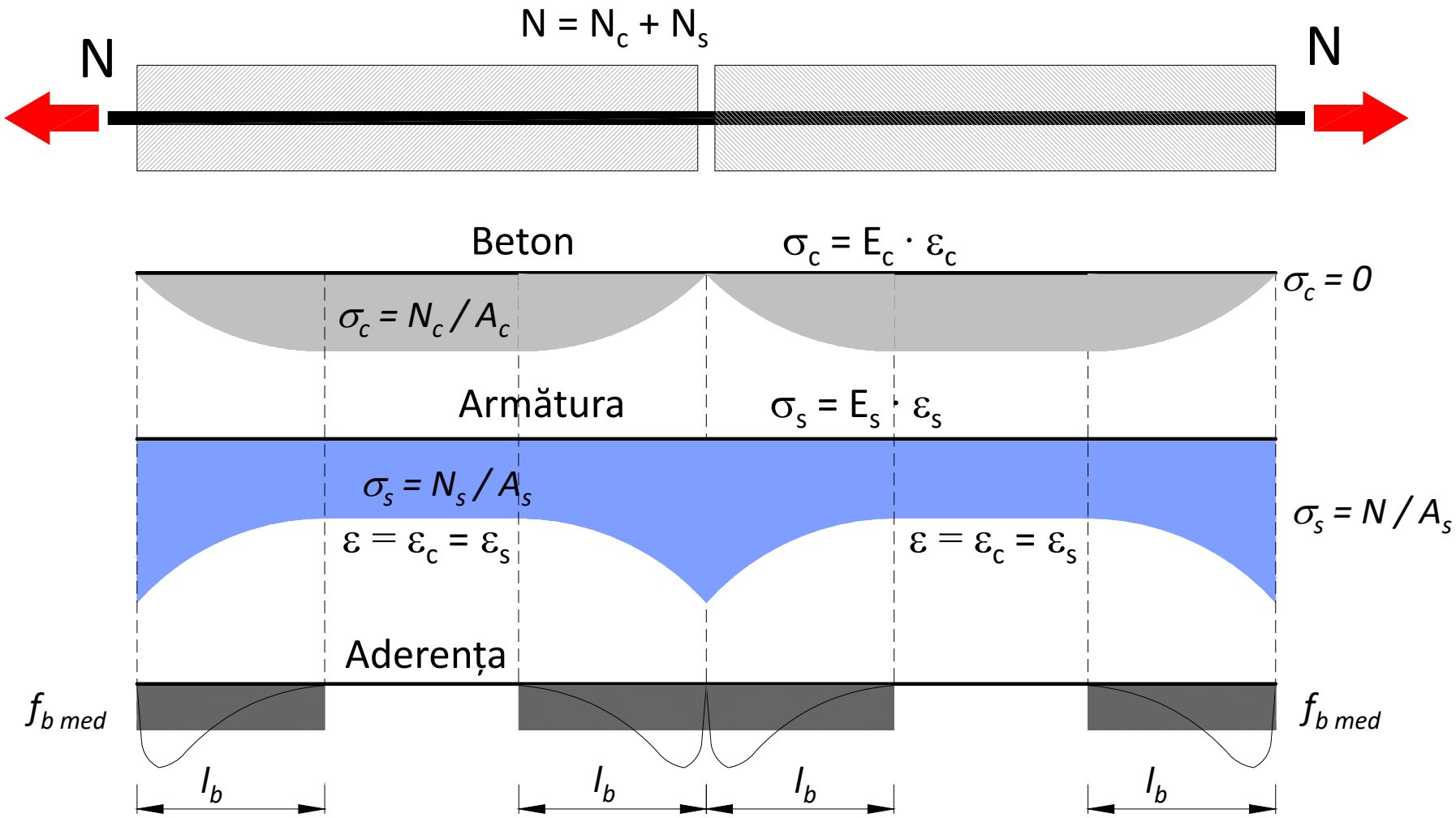
Distribuția eforturilor unitare de aderență lângă o fisură



Comportarea armăturii înglobate în beton la întindere centrică



Comportarea armăturii înglobate în beton la întindere centrică



Anchorage / Ancorarea

Anchorage length / Lungimea de ancoraj

Lungimea necesară de ancorare l_b *asigură transmiterea efortului de la armătură la beton prin* aderenţă pe această lungime; se poate deduce din **condiţia raţională** ca distrugerea aderenţei să se producă simultan cu curgerea armăturii ($\sigma_{sd} = f_{yd}$):

$$\frac{\pi \cdot \phi^2}{4} f_y = \pi \cdot \phi \cdot l_b \cdot f_{bmed} \quad \rightarrow \quad l_b = \frac{\phi \cdot f_y}{4 \cdot f_{bmed}}$$

Proiectarea conform EC2

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

→ unde

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}}$$

La limită :

Anchorage / Ancorarea

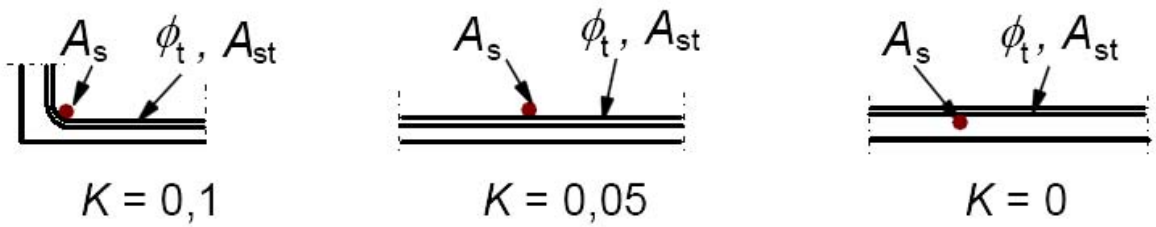
Anchorage length / Lungimea de ancoraj

Tabelul 8.2 - Valori ale coeficienților α_1 , α_2, α_3, α_4 şi α_5

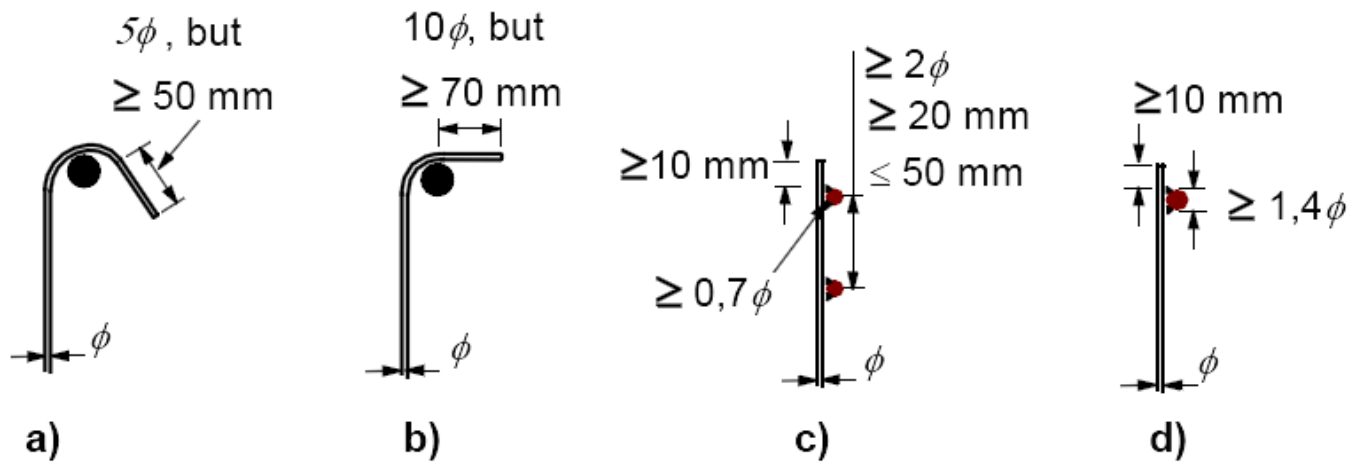
Factor de influență	Tip de ancorare	Armătură de beton armat	
		întinsă	comprimată
Forme de bare	Drept	$\alpha_1 = 1{,}0$	$\alpha_1 = 1{,}0$
	Altul (a se vedea Figura 8.1 b), c) şi d))	$\alpha_1 = 0{,}7$ dacă $c_d > 3\phi$ altfel $\alpha_1 = 1{,}0$ (a se vedea Figura 8.3 pentru valorile c_d)	$\alpha_1 = 1{,}0$
Acoperire	Drept	$\alpha_2 = 1 - 0{,}15\,(c_d - \phi)/\phi$ $\geq 0{,}7$ $\leq 1{,}0$	$\alpha_2 = 1{,}0$
	Altul (a se vedea Figura 8.1 b), c) şi d))	$\alpha_2 = 1 - 0{,}15\,(c_d - 3\phi)/\phi$ $\geq 0{,}7$ $\leq 1{,}0$ (a se vedea figura 8.3 pentru valorile c_d)	$\alpha_2 = 1{,}0$
Confinare prin armături transversale nesudate de armăturile principale	Toate tipurile	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0{,}7$ $\leq 1{,}0$	$\alpha_3 = 1{,}0$
Confinare prin armături transversale sudate*	Toate tipurile, pozițiile şi diametrele ca în Figura 8.1 e)	$\alpha_4 = 0{,}7$	$\alpha_4 = 0{,}7$
Confinare prin compresiune transversală	Toate tipurile	$\alpha_5 = 1 - 0{,}04p$ $\geq 0{,}7$ $\leq 1{,}0$	–

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

Efectul armăturilor transversale nesudate asupra aderenţei (prin confinare) pentru grinzi şi plăci



Ancorarea armăturilor transversale - în mod obişnuit prin **ciocuri** (cârlige) sau prin **armături transversale sudate** (o bară în interiorul ciocului)



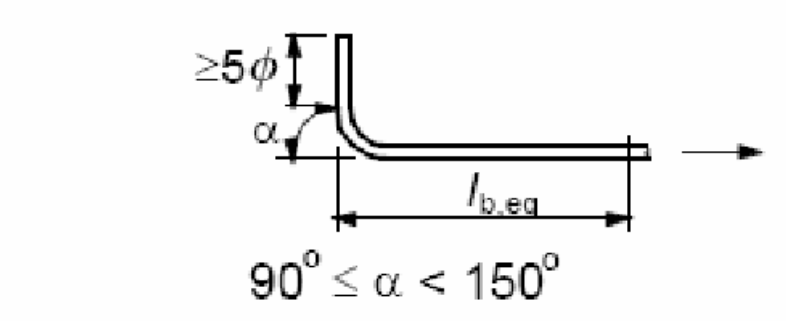
Anchorage / Ancorarea

Anchorage length / Lungimea de ancoraj

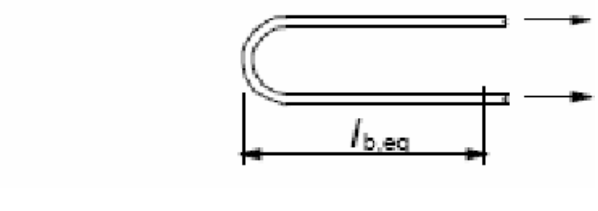
O simplificare:

$$l_{bd} = \alpha_1 l_{b,rqd}$$

- pentru formele din figurile 8.1b) la 8.1d)
- a se vedea tabelul 8.2 pentru valorile lui α_1



b) Lungime de ancorare echivalentă pentru un cioc normal la 90°



d) Lungime de ancorare echivalentă pentru o buclă normală

e)
ec
su

Tabelul 8.2 - Valori ale coeficienților α_1 , α_2, α_3, α_4 şi α_5

Factor de influență	Tip de ancorare	Armătură de beton armat	
		întinsă	comprimată
Forme de bare	Drept	α_1 = 1,0	α_1 = 1,0
	Altul (a se vedea Figura 8.1 b), c) şi d))	α_1 = 0,7 dacă c_d >3ϕ altfel α_1 = 1,0 (a se vedea Figura 8.3 pentru valorile c_d)	α_1 = 1,0

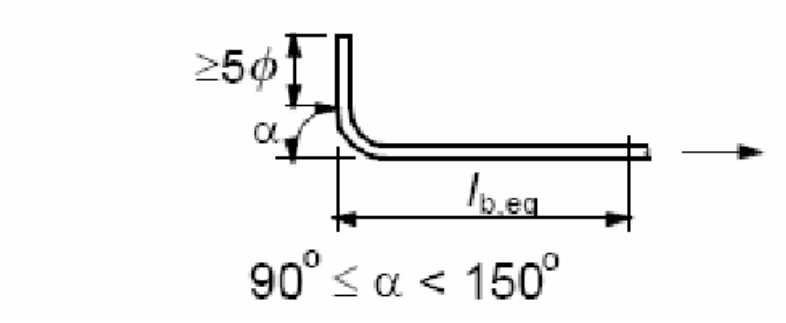
Anchorage / Ancorarea

Anchorage length / Lungimea de ancoraj

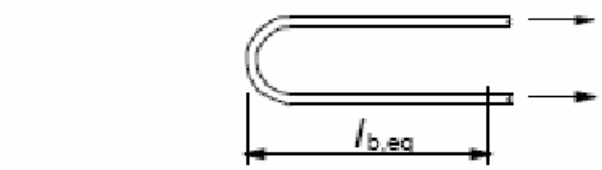
O simplificare:

$$l_{bd} = \alpha_1 l_{b,rqd}$$

- pentru formele din figurile 8.1b) la 8.1d)
- a se vedea tabelul 8.2 pentru valorile lui α_1



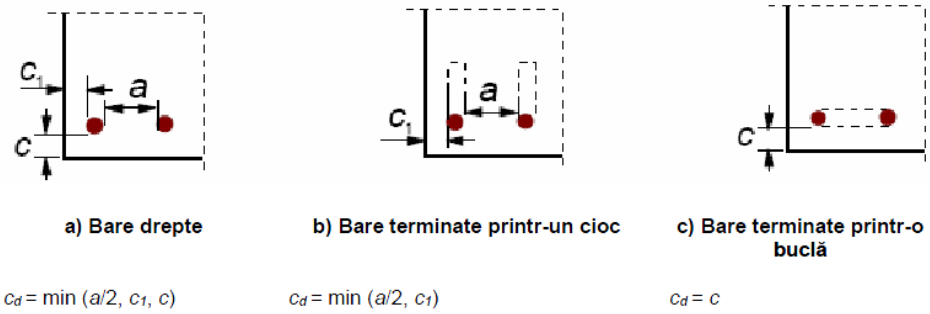
b) Lungime de ancorare echivalentă pentru un cioc normal la 90°



d) Lungime de ancorare echivalentă pentru o buclă normală

e)

Tabelul 8.2 - Valori ale coeficienților α_1 , α_2, α_3, α_4 şi α_5



a) Bare drepte — c_d = min (a/2, c_1, c)

b) Bare terminate printr-un cioc — c_d = min (a/2, c_1)

c) Bare terminate printr-o buclă — c_d = c

Armătură de beton armat	
întinsă	comprimată
α_1 = 1,0	α_1 = 1,0
α_1 = 0,7 dacă c_d >3ϕ altfel α_1 = 1,0 (a se vedea Figura 8.3 pentru valorile c_d)	α_1 = 1,0

Figura 8.3 - Valorile lui c_d pentru grinzi şi plăci

Anchorage / Ancorarea

Anchorage length / Lungimea de ancoraj

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$ → efortul unitar de aderență de calcul

unde:

η_1 - este un coeficient legat de condițiile de aderență și de poziția barei în timpul betonării

= 1.0 → condiții bunede aderenţă

= 0.7 → toate celelalte cazuri

η_2 - este un coeficient legat de diametrul barei

= 1.0 pt ϕ ≤ 32 mm

= (132-ϕ)/100 pt ϕ > 32 mm

f_{ctd} – rezistența de calcul la întindere a betonului

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

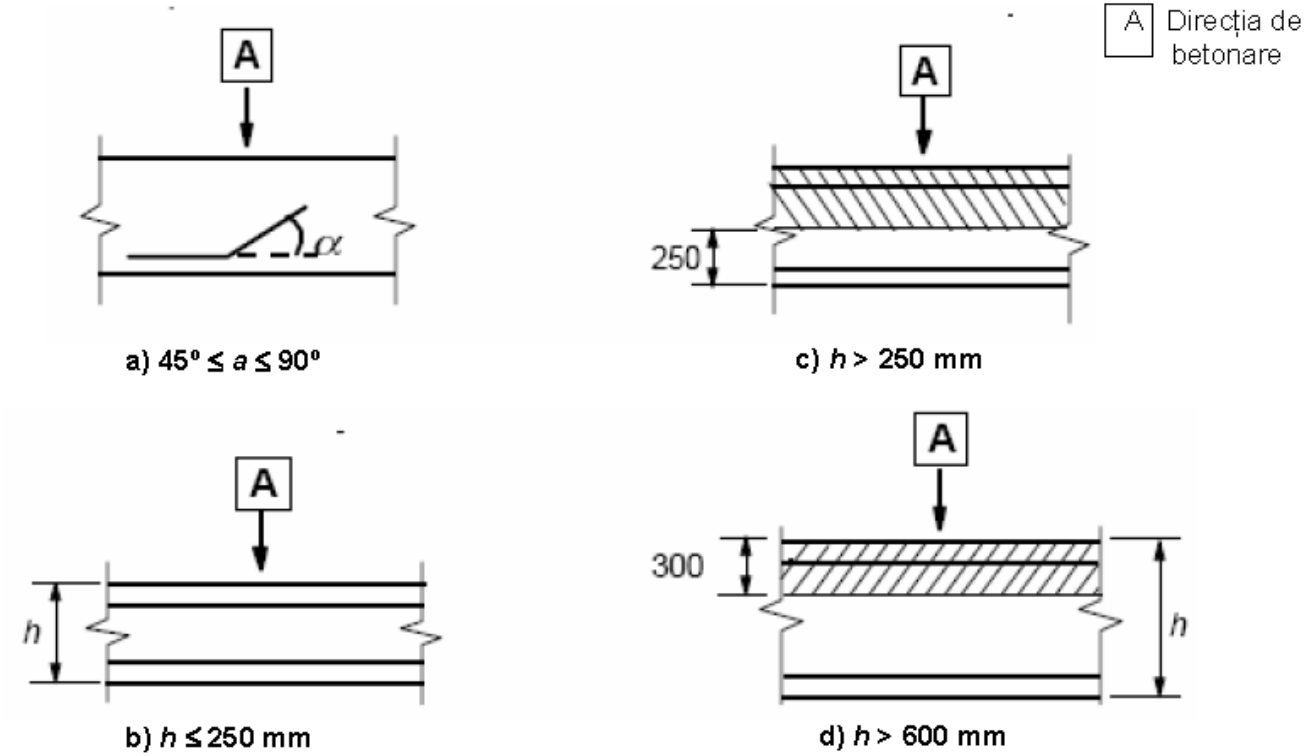
Anchorage / Ancorarea

Anchorage length / Lungimea de ancoraj

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

→ efortul unitar de aderență de calcul

Condiții de aderență



a) & b) condiții de aderență "bune" pentru toate barele

c) & d) zona nehaşurată – condiții de aderență "bune"
zona haşurată – condiții de aderență "mediocre"

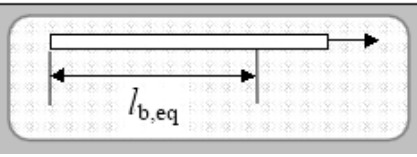
Anchorage / Ancorarea

Anchorage length / Lungimea de ancoraj

Barele de armătură longitudinale pot fi ancorate la capetele lor prin următoarele forme:

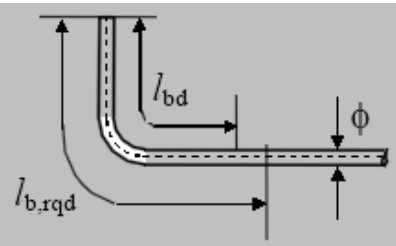
1. capete drepte

1. Ancorarea barelor cu capăt drept
(ancorare prin aderență)

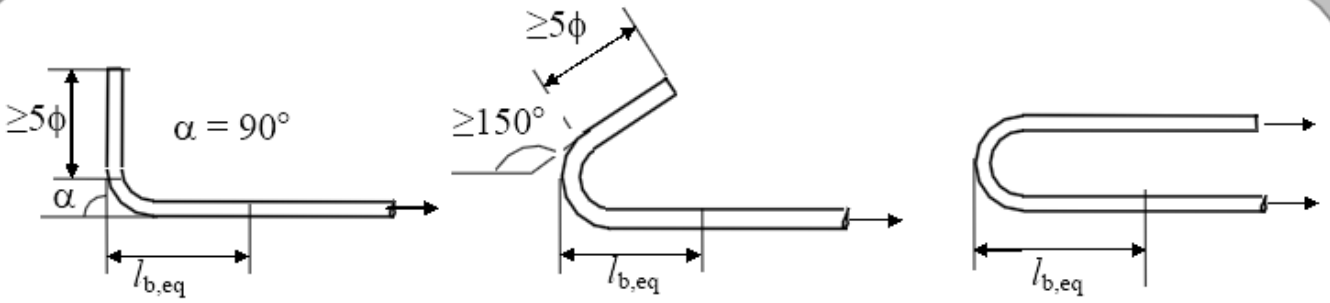


2. capete îndoite - ciocuri (cârlige) sau bucle

2. Ancorarea armăturilor cu capăt îndoit



a. lungime de ancorare de referință, $l_{b,rqd}$ măsurată în lungul axei, pentru orice formă



b. capăt îndoit la 90° **c**. capăt îndoit la 90°≤α<150° **d**. buclă

lungime de ancorare echivalentă: $l_{b,eq} = \alpha_1 \, l_{b,rqd}$

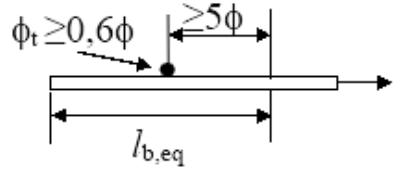
Anchorage / Ancorarea

Anchorage length / Lungimea de ancoraj

Barele de armătură longitudinale pot fi ancorate la capetele lor prin următoarele forme:

3. capete drepte cu sudarea unor bare transversale

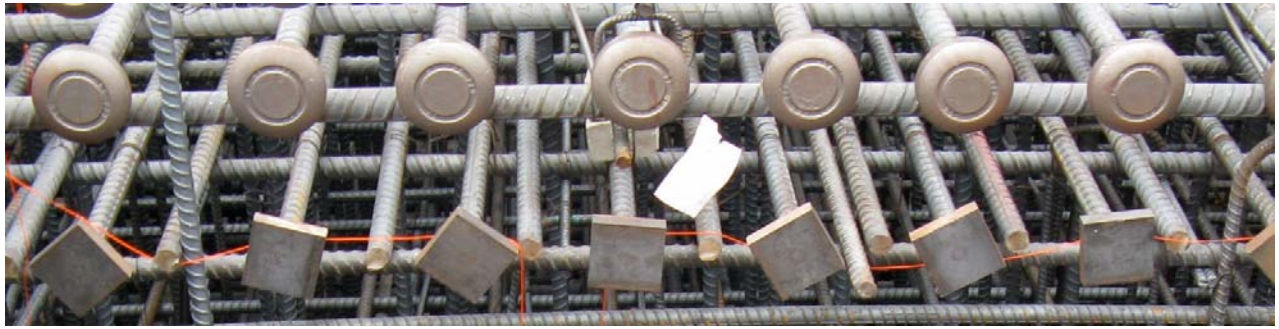
3. Ancorarea armăturilor cu bară transversală sudată



lungime de ancorare echivalentă: $l_{b,eq} = \alpha_4 \, l_{b,rqd}$

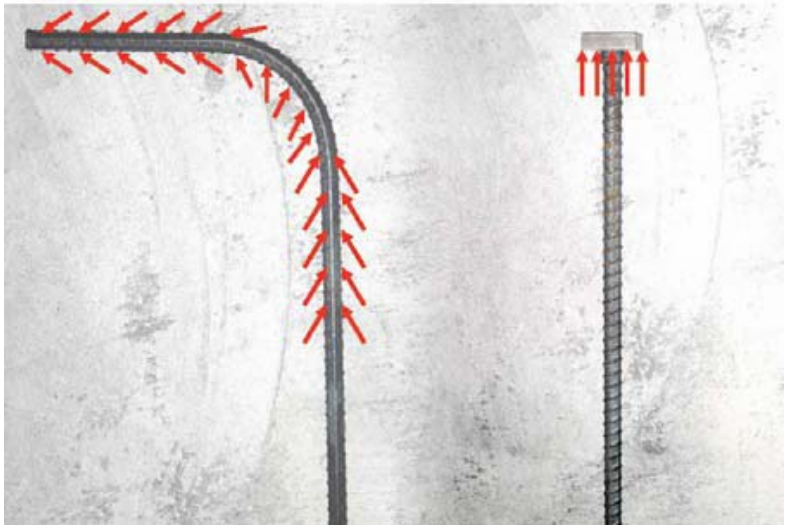
Observație: ciocurile (cârligele) nu se iau în considerare la ancorarea barelor comprimate.

4. Capete cu ancore speciale (headed reinforcement)



4. Capete cu ancore speciale (headed reinforcement)

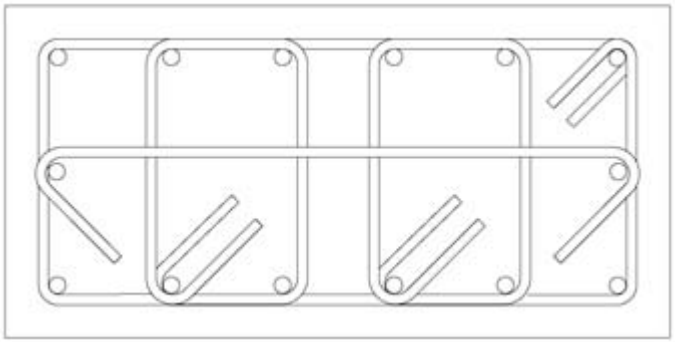
- Transferul eforturilor concentrat elimină necesitatea lungimii de ancoraj, fără utilizarea aderenți
- Se poate utiliza lungimea totală a barei
- Reducerea aglomerării armăturilor → reducerea dimensiunii elementului
- Ancorajul rigid la armăturile de forță tăietoare reduce deformațiile specifice de forfecare, reducând deschiderea fisurilor de tăiere



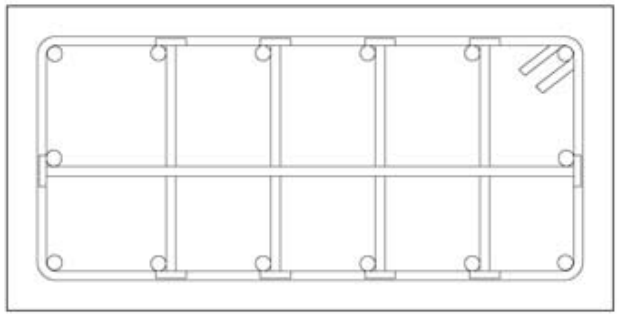
Distribuția eforturilor

Poziția secțiunii active

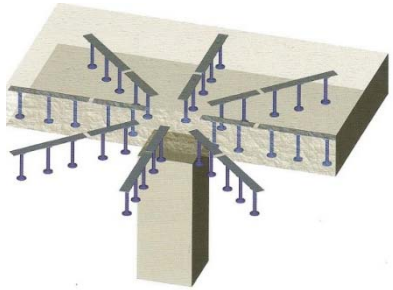
4. Capete cu ancore speciale (headed reinforcement)

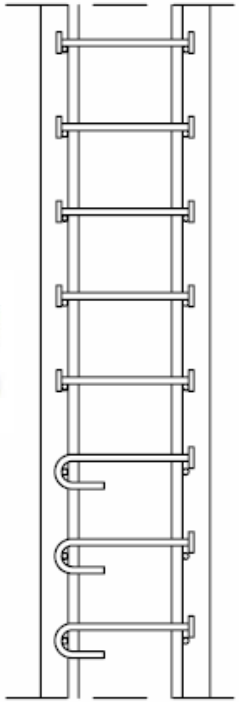


→

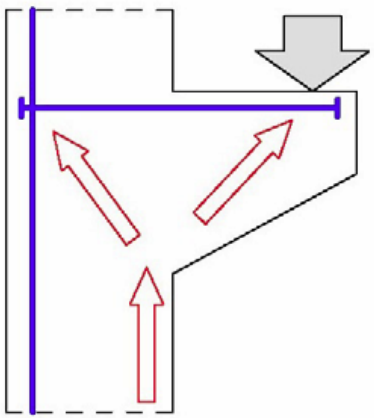


- instalare ușoară și rapidă
- fără ciocuri sau îndoiri
(consum redus de material)

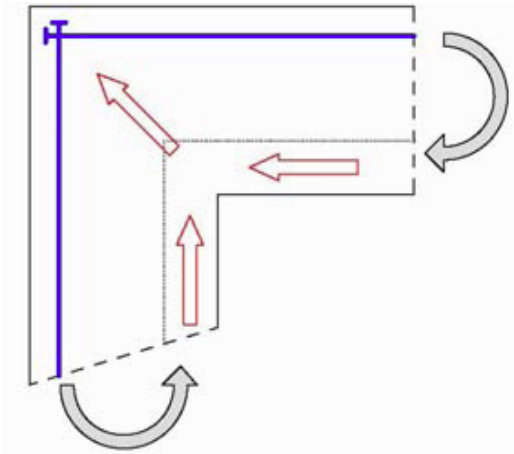




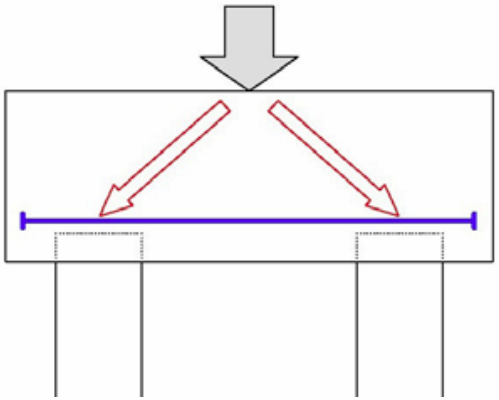
4. Capete cu ancore speciale (headed reinforcement)

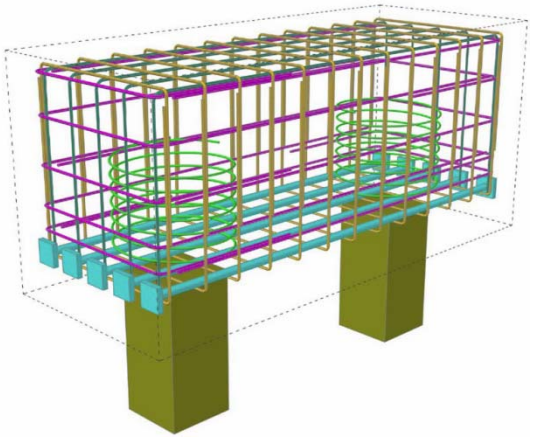


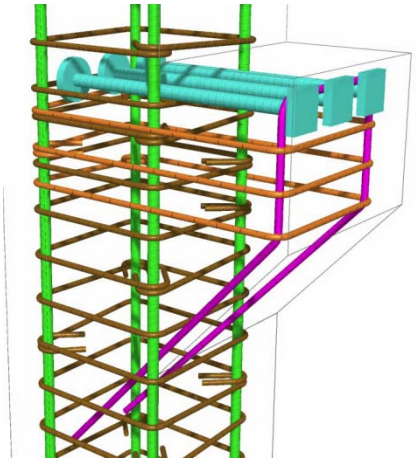
Console

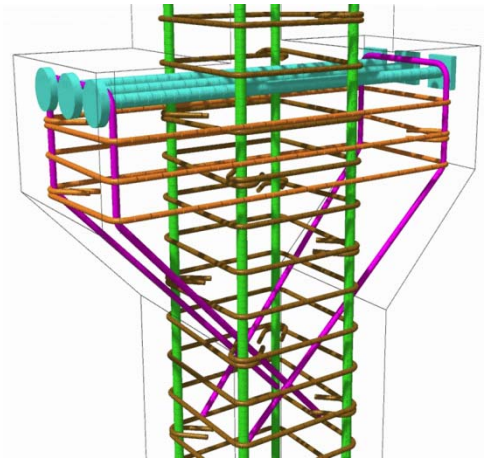


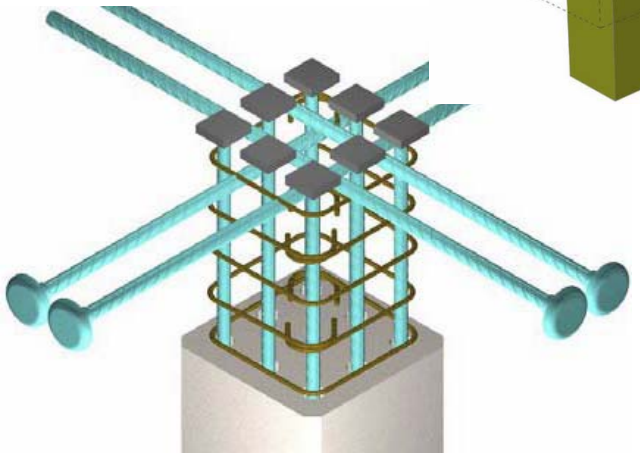
Stâlpi









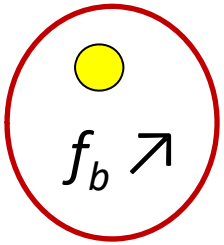


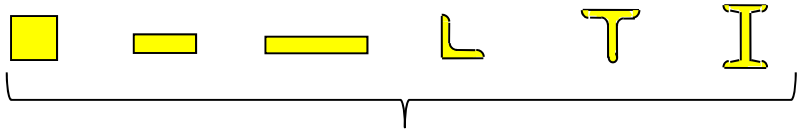
(hrc.com)

Anchorage / Ancorarea

Factorii care influențează aderența

- calitatea betonului	C ↗	$\Rightarrow f_b$ ↗
- dozajul de ciment	Cim ↗	$\Rightarrow f_b$ ↗
- raportul apă/ciment	A/Cim ↗	$\Rightarrow f_b$ ↘
- compactarea	Compact ↗	$\Rightarrow f_b$ ↗
- poziția armăturilor în timpul turnării		
	bare orizontale	$\Rightarrow f_b$ ↘ (goluri de aer)
	bare verticale	$\Rightarrow f_b$ ↗
- forma secțiunii transversale a barei		

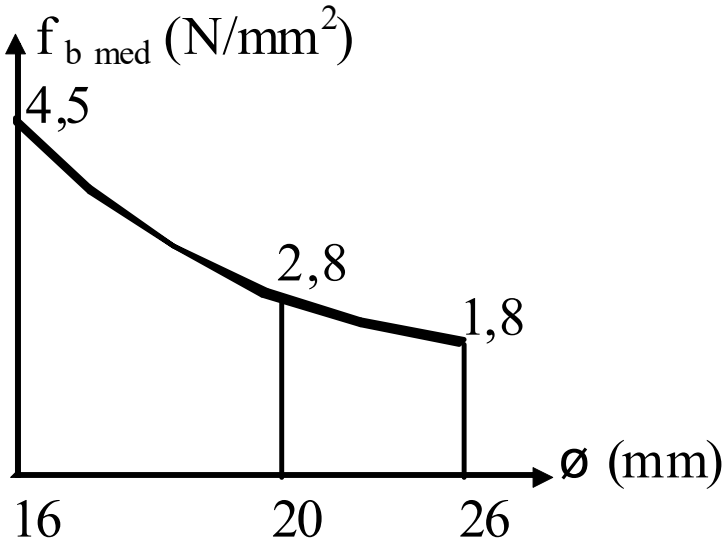




- Vârfuri de tensiune
- Compactare mai slabă

Factorii care influențează aderența

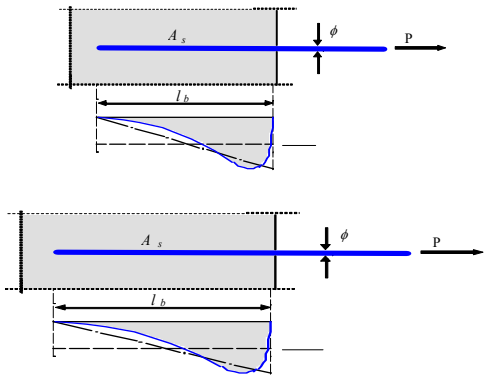
- diametrul barelor $\phi \nearrow$ $\Rightarrow f_b \searrow$

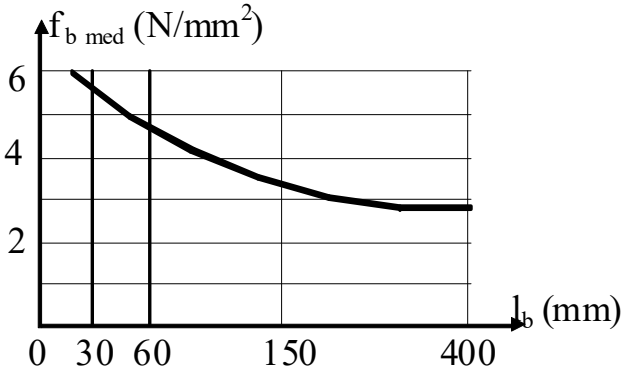


- acoperirea cu beton acop. bet. $\searrow$ $\Rightarrow f_b \searrow$

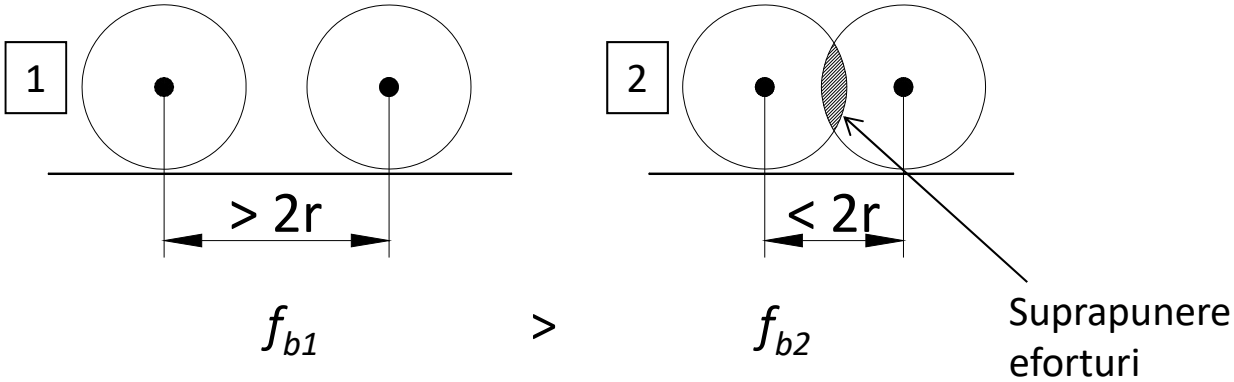
Factorii care influențează aderența

-lungimea de înglobare $l_b \nearrow$ $\Rightarrow f_{bmed} \searrow$





- distanța dintre bare $s_l \nearrow$ $\Rightarrow f_b \nearrow$

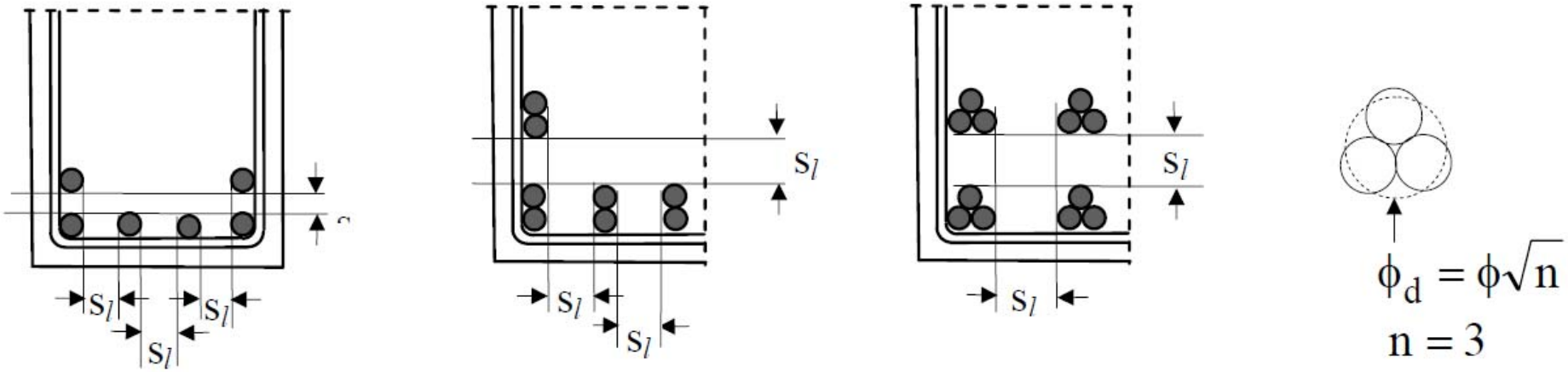


f_{b1} > f_{b2}

Anchorage / Ancorarea

Factorii care influențează aderența

- distanța dintre bare $s_l \nearrow$ $\Rightarrow f_b \nearrow$



a) bare independente

b) grupuri de 2 bare suprapuse

c) grupuri de 3 bare

Factorii care influențează aderența

- distanța dintre bare $s_l \nearrow$ $\Rightarrow f_b \nearrow$

Distanţa minimă liberă dintre armăturile longitudinale s_l , atât pe orizontală, cât şi pe verticală, trebuie să fie cea mai mare dintre valorile

$$s_l = \max\{(k_1 \cdot \emptyset); (d_g + k_2); 20\ mm\}$$

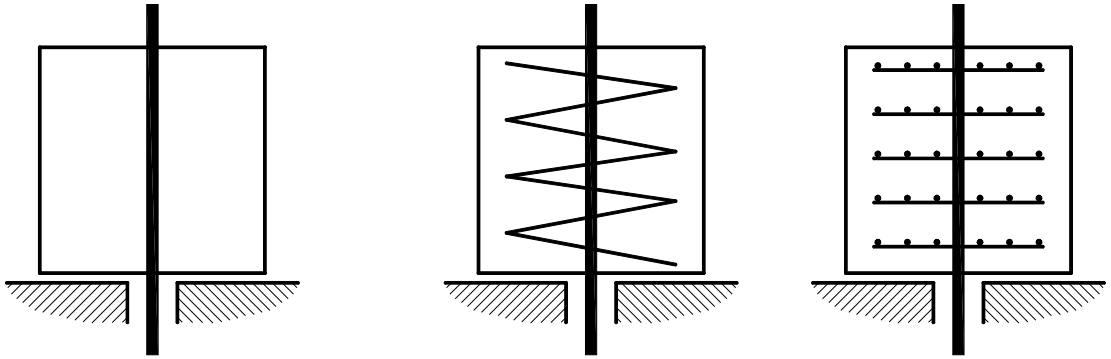
Φ – diametrul barei (mm)
d_g – dimensiunea maximă a agregatului folosit
k_1, k_2 – valorile date în anexa naţională.
Recomandat : k_1=1 and k_2=5mm

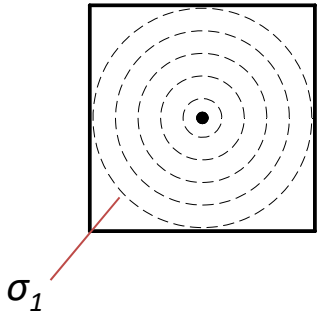
$$\rightarrow \quad s_l = \max\{\emptyset; (d_g + 5mm); 20\ mm\}$$

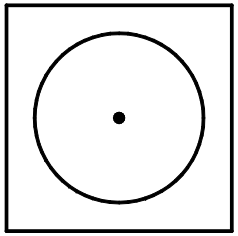
Factorii care influențează aderența

- barele transversale → previn deformațiile transversale

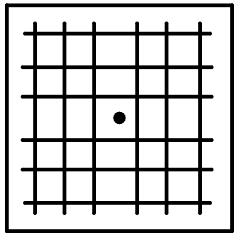
$\Rightarrow f_b \nearrow$







fretă



Plase sudate

1

2

$f_{b1} < f_{b2}$

Înnădirea barelor

- să asigure transmiterea eforturilor de la o bară la alta
- să fie decalate și să nu fie dispuse în zone puternic solicitate (reazeme sau zone plastice!)

Transmiterea eforturilor de la bară la alta se efectuează prin:

- înnădirea barelor prin suprapunere
- sudare
- prin alte metode ☺

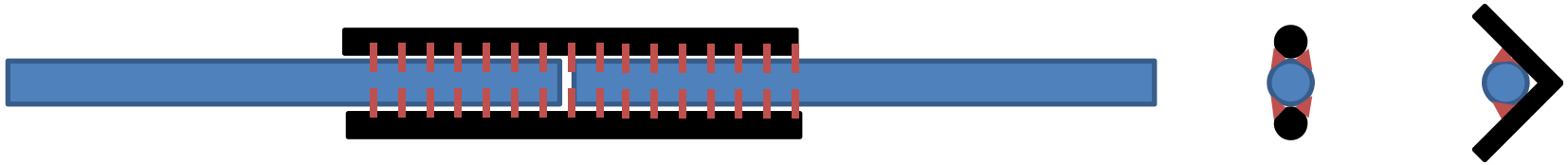
Anchorage / Ancorarea

Laps / Înnădiri

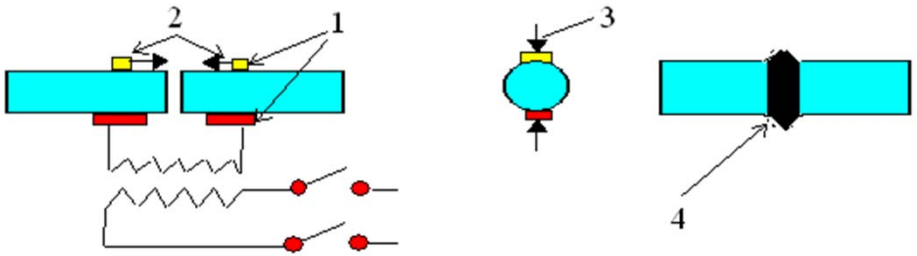
Înnădirea barelor de armătură **prin sudură** poate fi realizată, de regulă, prin sudare electrică:

a) prin suprapunere;

b) cu eclise din cupoane de armătură sau din profiluri;



c) cap la cap cu topire intermediară;



Sursa: http://www.scrigroup.com/tehnologie/tehnica-mecanica/Sudarea-manuala-cu-arc-electri41982.php

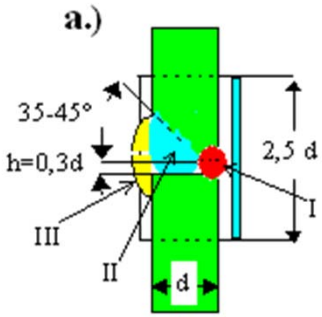
NE 012/2

Înnădirea barelor de armătură **prin sudură** poate fi realizată, de regulă, prin sudare electrică:

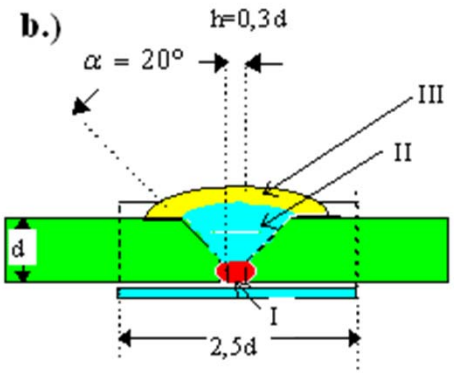
d) cap la cap, în cochilie

(cu sudura manuală, în cochilie în baie de zgură)

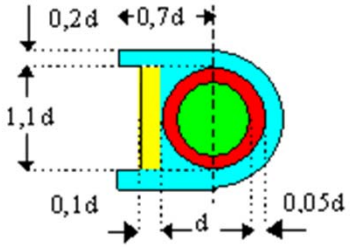
I - rădăcina sudurii
II - sudura propriuzisa in baie de zgura, executata in straturi, cu pauze intermediare, pentru indepartarea zgurei;
III - stratul de acoperire a sudurii.



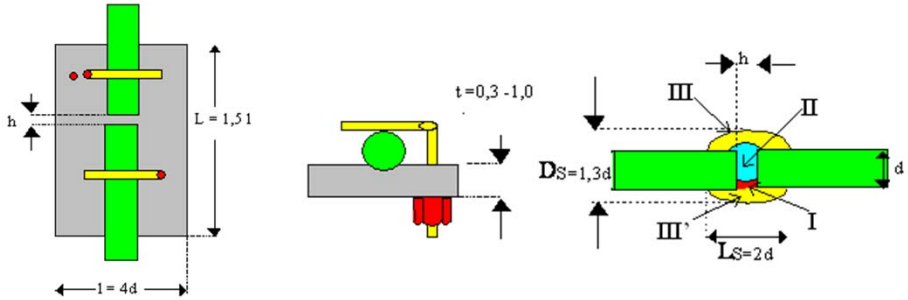
cu sudura în poziție verticală



cu sudură în poziție orizontală



e) cap la cap, în semimanşon de cupru.



Modul de înnădire a barelor prin sudură va fi precizat în proiect, împreună cu eventualele condiții specifice, precum şi cu abaterile admisibile.

Sursa: http://www.scrigroup.com/tehnologie/tehnica-mecanica/Sudarea-manuala-cu-arc-electri41982.php

NE 012/2

Alte metode de înnădire sunt, de exemplu:

- înnădirea cu filet, normal sau conic;

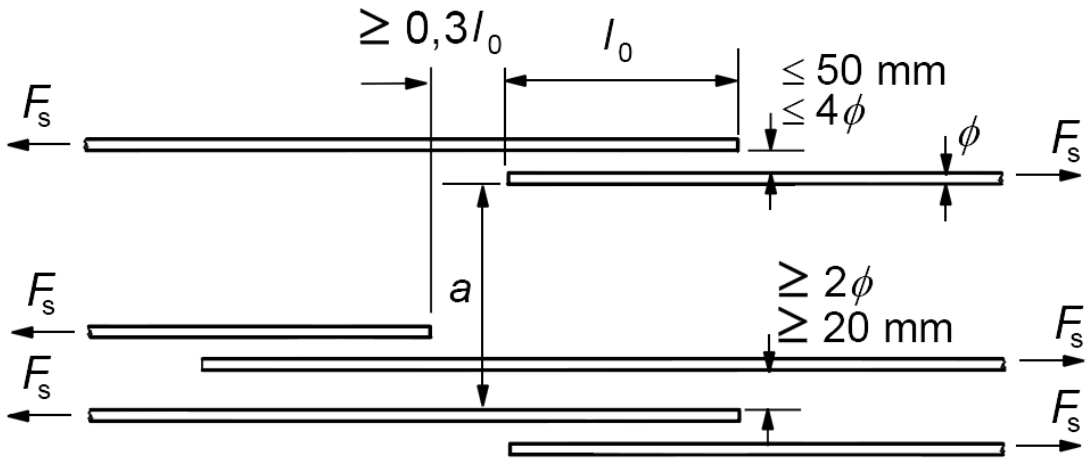
- înnădirea cu manşon presat radial;

- înnădirea cu manşon şi compoziție turnată la interior (oțel topit sau alte materiale);

- înnădirea cap la cap, cu manșon de poziționarea (pentru armături comprimate).

NE 012/2

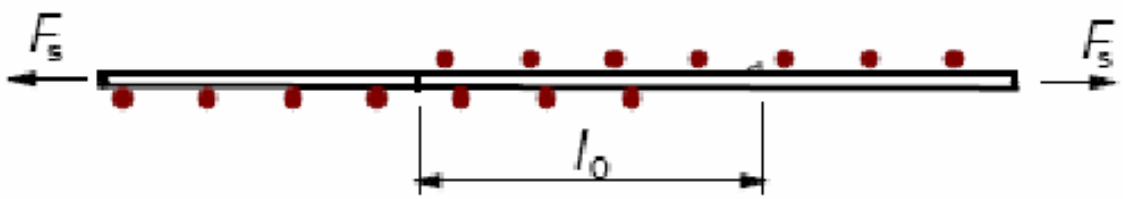
Înnădirea barelor prin suprapunere



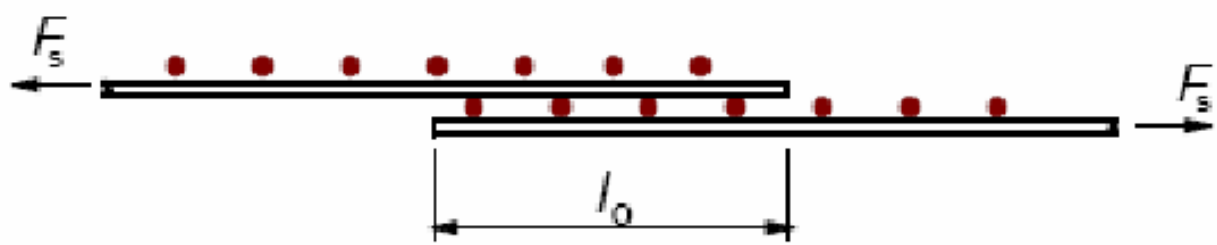
$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

ρ_1	< 25%	33%	50%	> 50%
α_6	1	1,15	1,4	1,5
NOTĂ - Valorile intermediare pot fi obținute prin interpolare.				

Suprapunerea plaselor sudate



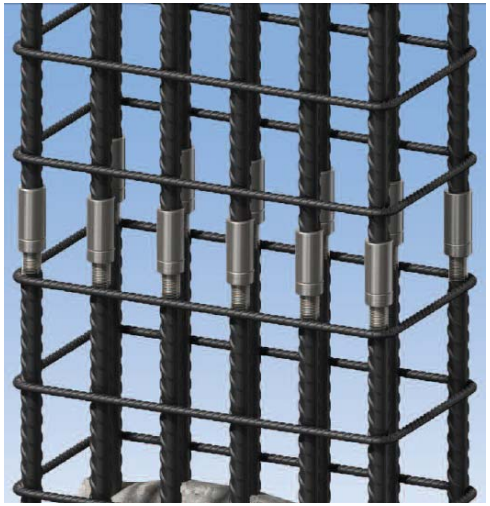
a) suprapunerea panourilor în acelaşi plan (secțiune longitudinală)

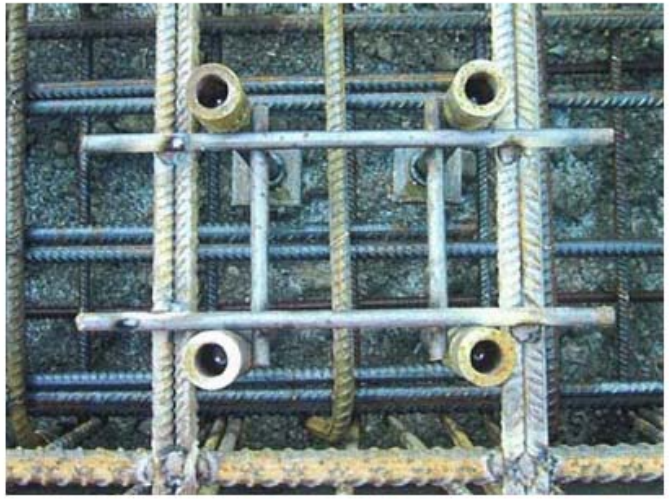


b) suprapunerea panourilor în planuri diferite (secțiune longitudinală)

Diametrul barelor (mm)	Lungimi de suprapunere
$\phi \leq 6$	≥150 mm; cel puțin un ochi de plasă în intervalul de înnădire fig. 5.18a.
$6 < \phi \leq 8{,}5$	≥250 mm; cel puțin două ochiuri de plasă în intervalul de înnădire fig. 5.18b.
$8{,}5 < \phi \leq 12$	≥350 mm; cel puțin două ochiuri de plasă în intervalul de înnădire fig. 5.18b.

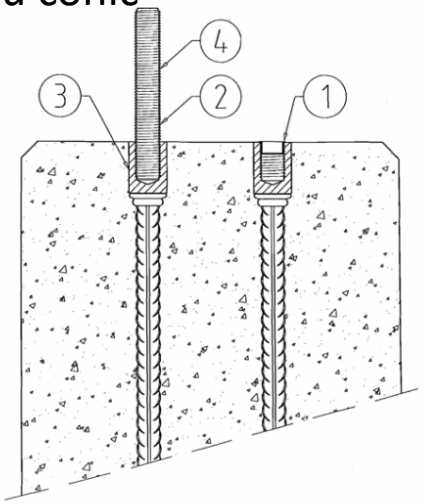
Înnădirea cu dispozitive mecanice de cuplare (cuplori) (couplers)



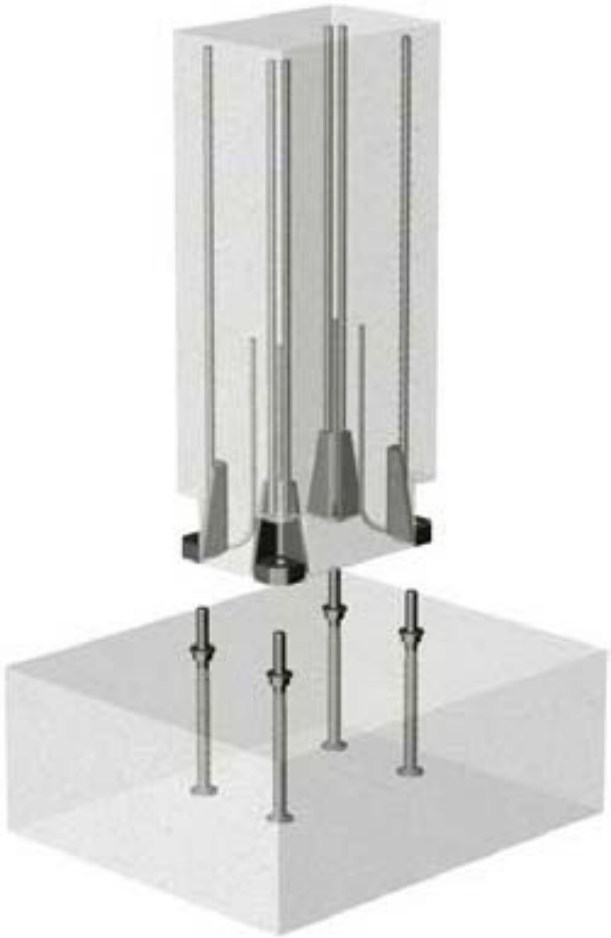


înnădirea cu filet, normal sau conic

În fundații→

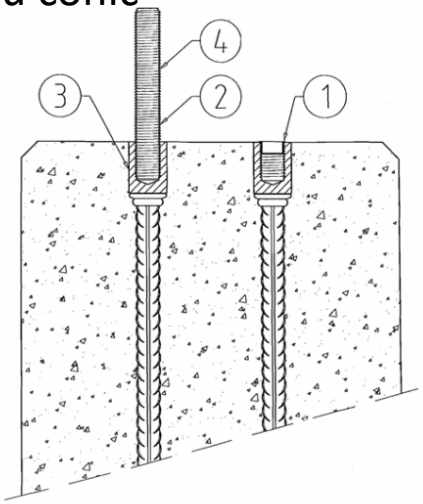


Înnădirea cu dispozitive mecanice de cuplare (cuplori) (couplers)

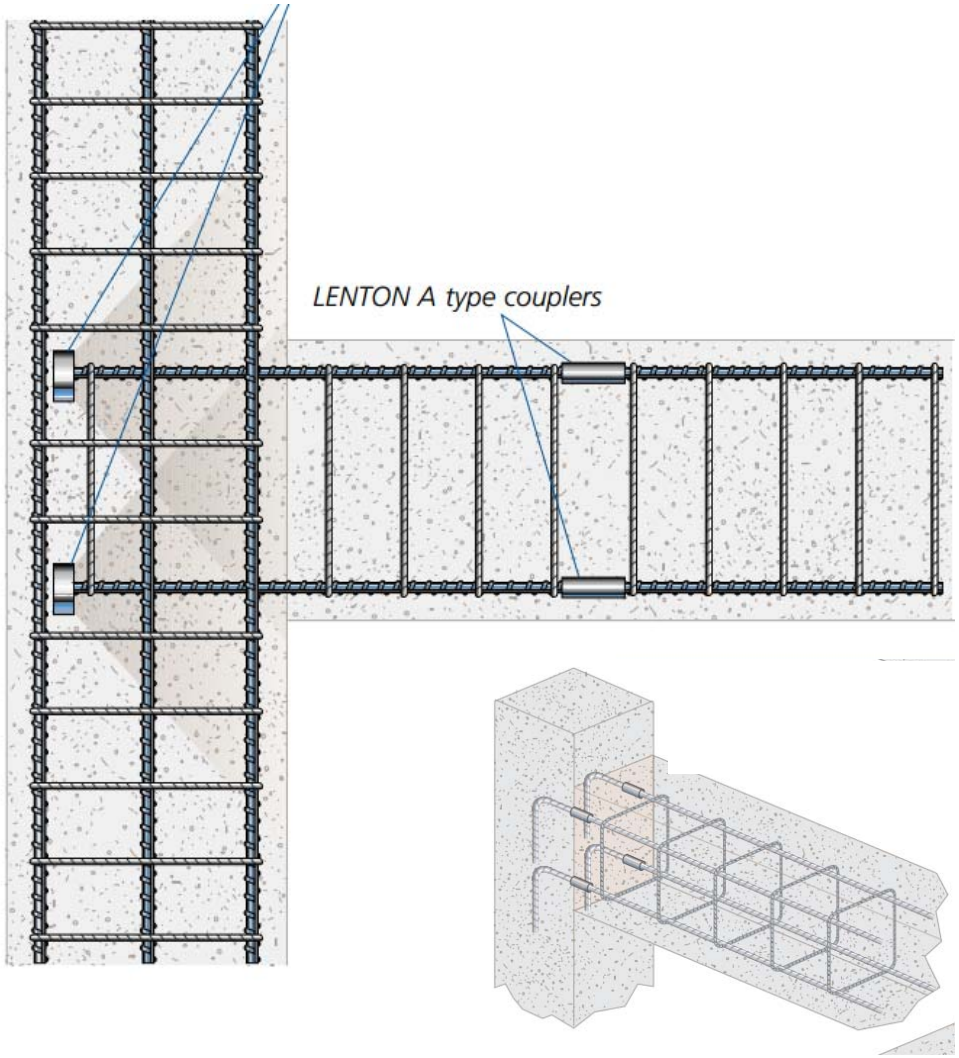


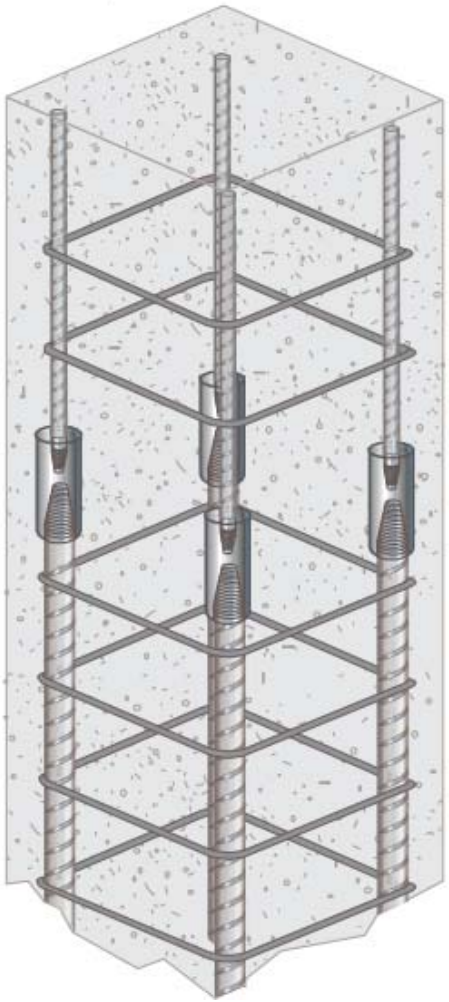
înnădirea cu filet, normal sau conic

În fundații→



Înnădirea cu dispozitive mecanice de cuplare (cuplori) (couplers)

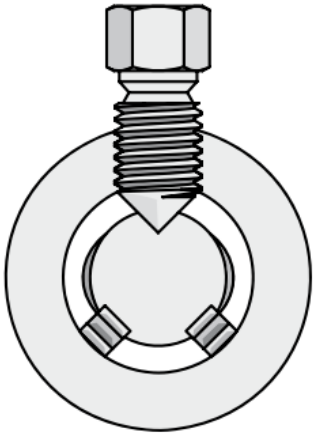




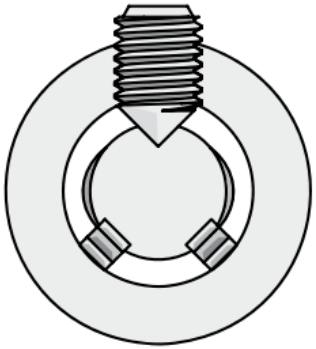
(Lenton)

Dispozitive mecanice de cuplare (cuplori) (couplers)

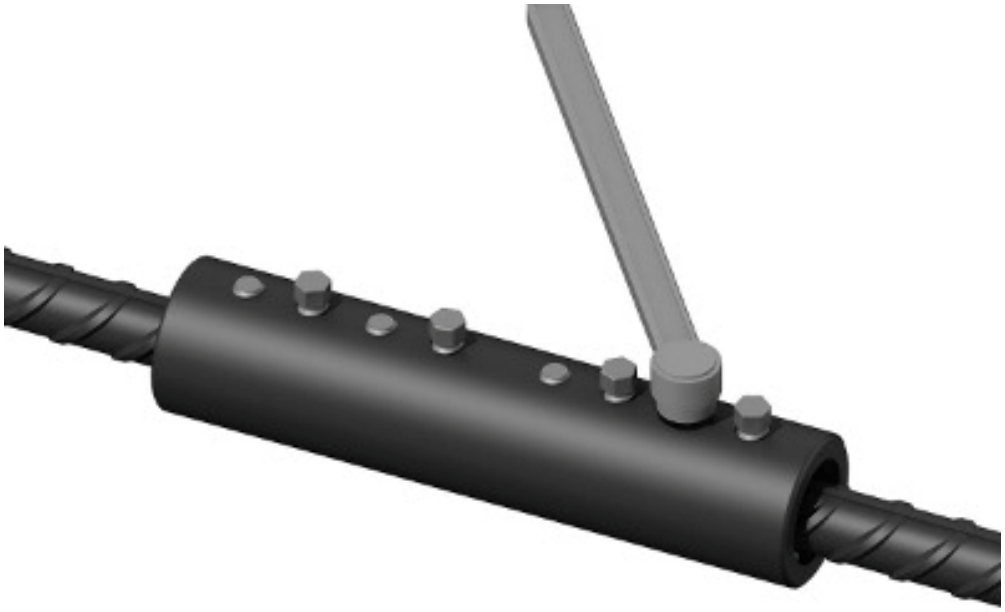
înnădirea cu manşon presat radial



Coupler with screwed-in shear-off screw



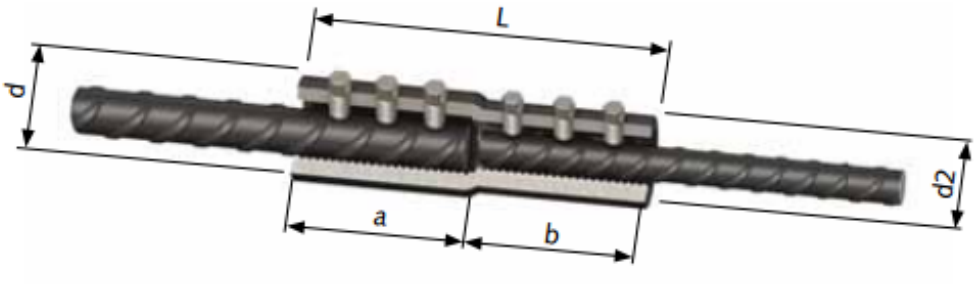
Coupler with sheared-off screw head



halfen.com

Dispozitive mecanice de cuplare (cuplori) (couplers)

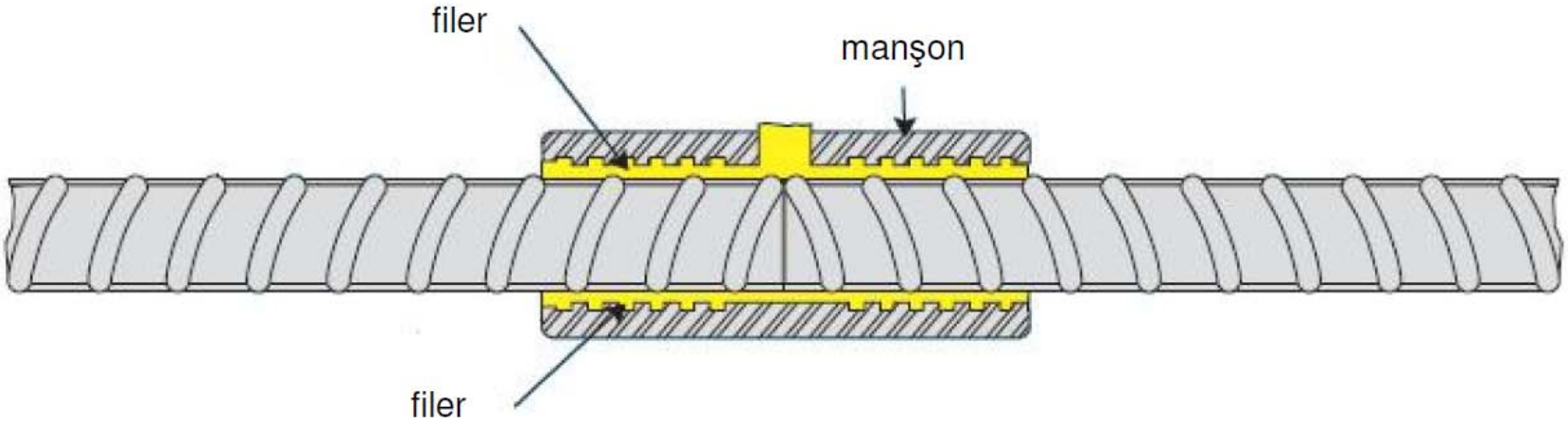
înnădirea cu manşon presat radial



halfen.com

Dispozitive mecanice de cuplare (cuplori) (couplers)

înnădirea cu manșon şi compoziției turnată la interior (oțel topit sau alte materiale)



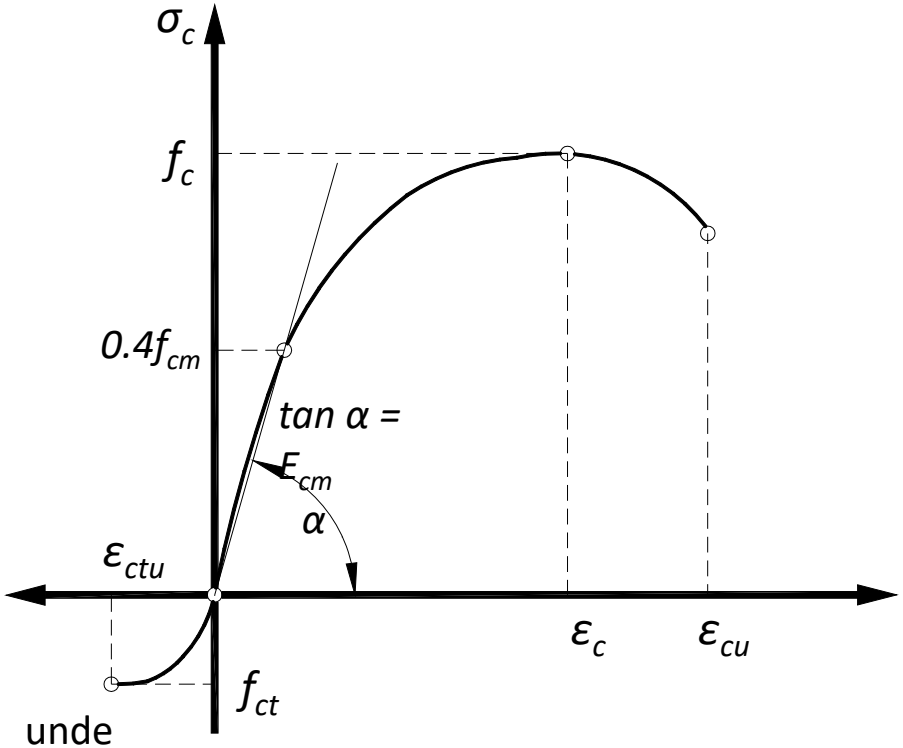
4.1 ANCORAREA ARMĂTURII ÎN BETON

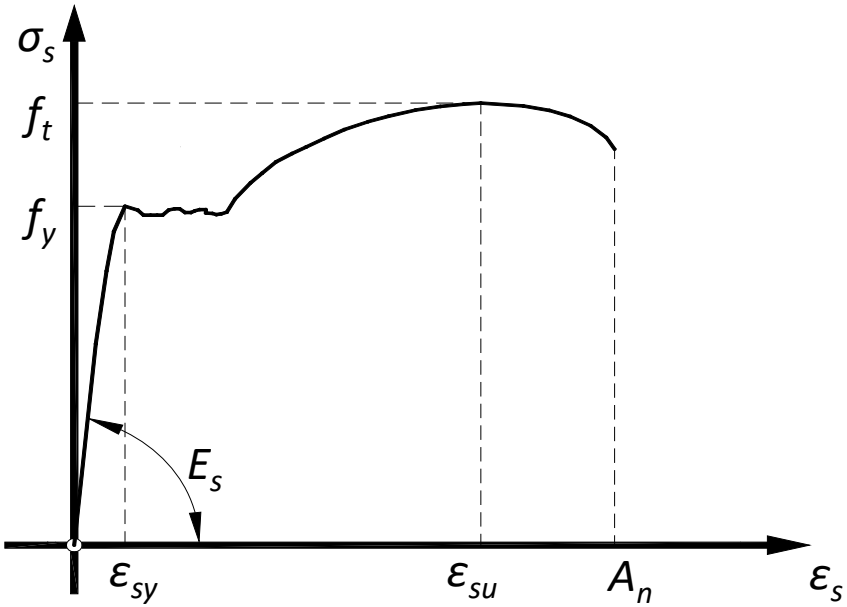
4.2 STADIILE DE LUCRU

4.3 DURABILITATEA BETONULUI ARMAT

Working stages / Stadiile de lucru

Betonul şi armătura au *proprietăţi fizico-mecanice diferite*, puse în evidenţă de curbele caracteristice ale celor două materiale.





unde

f_c – rezistența la compresiune a betonului

f_{ct} – rezistența la întindere a betonului

ε_{cu} – deformația specifică ultimă la compresiune

ε_{ctu} – deformația specifică ultimă la întindere

E_{cm} – modulul de elasticitate secant

unde

f_y – limita de curgere

f_t – rezistența la întindere a oțelului

ε_{su} – deformația specifică ultimă la întindere

ε_{sy} – deformația specifică la curgere

E_s – modulul de elasticitate al oțelului

Working stages / Stadiile de lucru

Sub acţiunea încărcărilor exterioare, monoton crescătoare, în elementele din beton armat se produc *modificări cantitative* (ale eforturilor) şi *calitative* (ale comportării materialelor), ceea ce permite delimitarea unor etape, denumite *stadii de lucru*.

Comportarea depinde de procentul da armare $p = 100A_s/A_c$:

- ***betonul slab armat***, realizat cu procente de armare foarte reduse (cu precădere în construcţii hidrotehnice masive);

- ***betonul armat***, realizat cu procente mici şi mijlocii de armare (domeniul construcţiilor civile, industriale şi al podurilor);

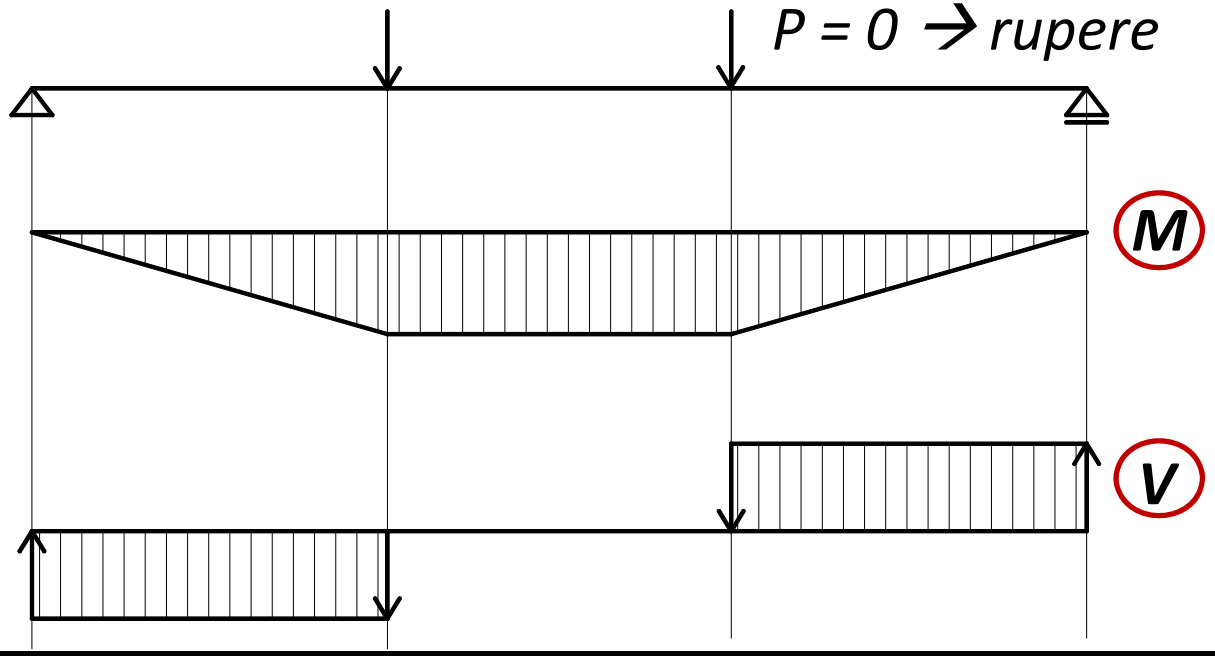
- ***betonul supraarmat***, realizat cu procente mari de armare; această situaţie este în general evitată.

Working stages / Stadiile de lucru

La o încărcare statică de scurtă durată, monoton crescătoare se disting trei ***stadii de lucru***:

- **stadiul I, nefisurat** (elastic)
- **stadiul II, fisurat** (elastico-plastic)
- **stadiul III, de rupere** (plastic).

Pentru a discuta stadiile de lucru, vom considera o grindă simplu rezemată (M constant pe porțiunea de mijloc).



Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL I.

- încărcarea are valori mici

- betonul este nefisurat → toată secţiunea transversală este activă

- rigiditatea la încovoiere (EI) maximă

- comportare preponderent elastică;

Limita Stadiului I. $\Leftrightarrow$ $\varepsilon_{ct} = \varepsilon_{ctu}$ → $\sigma_{ct} = f_{ct}$

- *1-a modificare calitativă* = plasticizarea betonului întins (curbarea diagramei de eforturi unitare); fisurarea este iminentă! (una sau mai multe fisuri normale pe axa elementului)

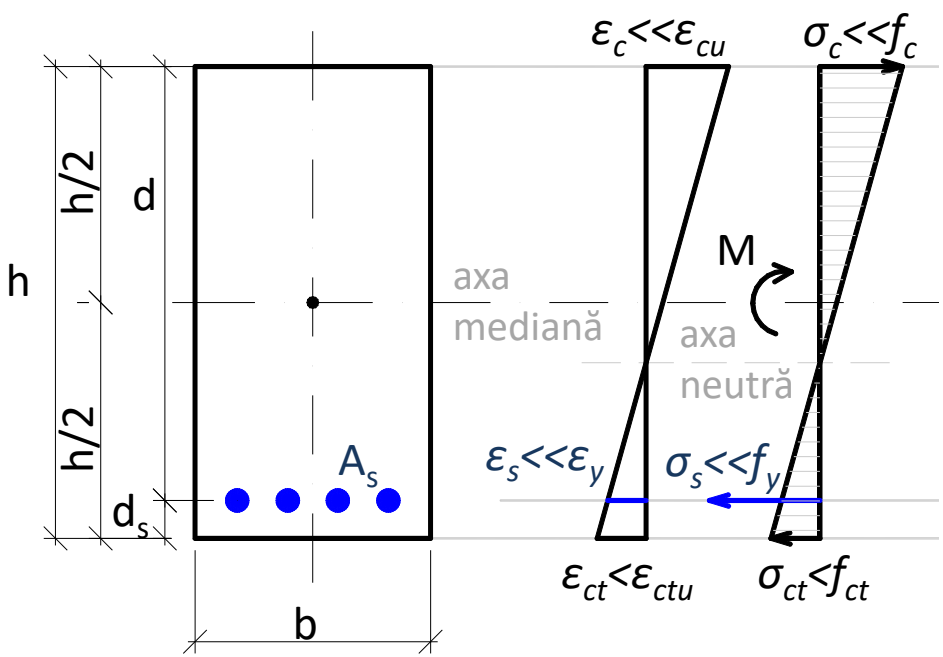
- *a 2-a modificare calitativă* = betonului întins este fisurat → elementul trece în Stadiul II, cu betonul întins fisurat scos din lucru

Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL I.

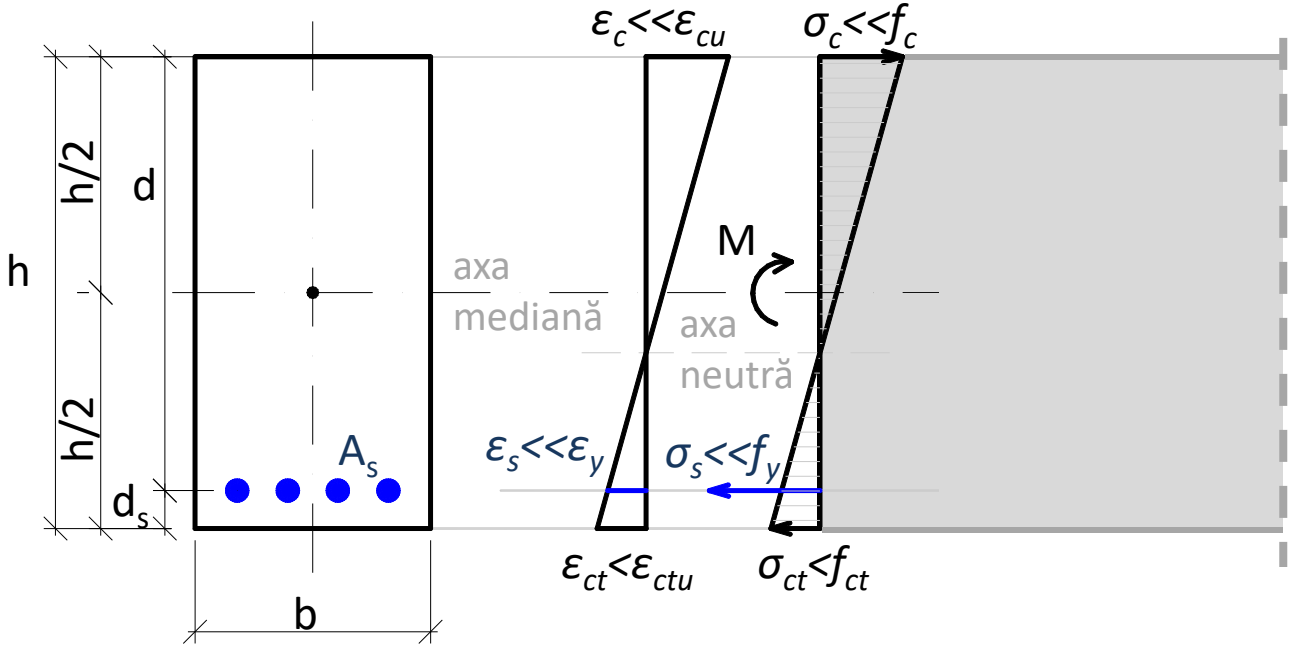
- Proiectarea în Stadiul I. nu este economică, deoarece eforturile în armături sunt foarte mici
- Proiectarea în Stadiul I. se utilizează de regulă la structuri hidrotehnice

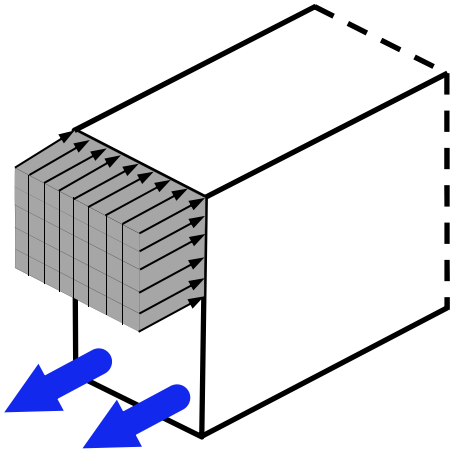
$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s \approx \underbrace{\varepsilon_{tu}}_{\approx 0.1\ldots0.15‰} \cdot E_s = \frac{0.10 \ldots 0.15}{1000} \cdot 210000 = 21 \ldots 30\ N/mm^2 \ll f_y = 210 \ldots 500\ N/mm^2$$



Working stages / Stadiile de lucru

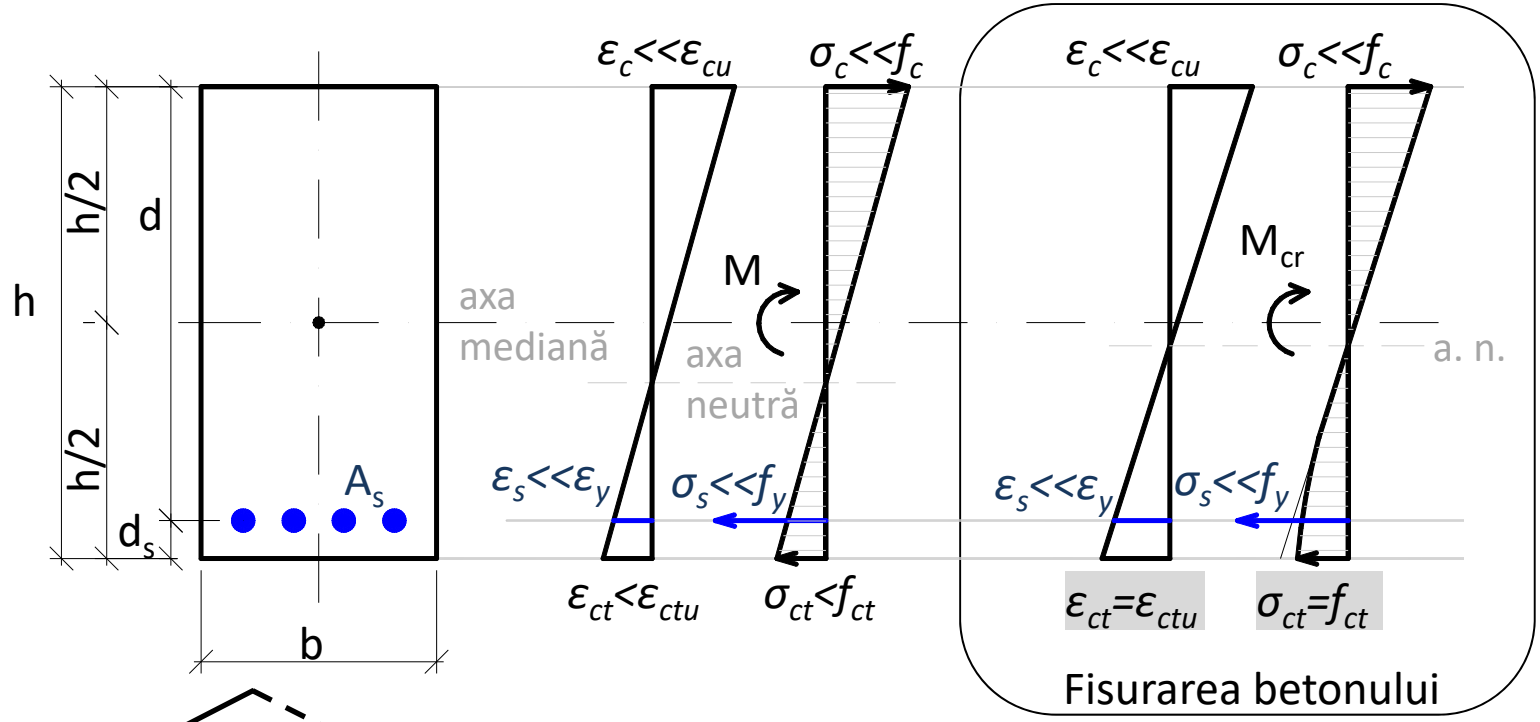
STADIUL I.

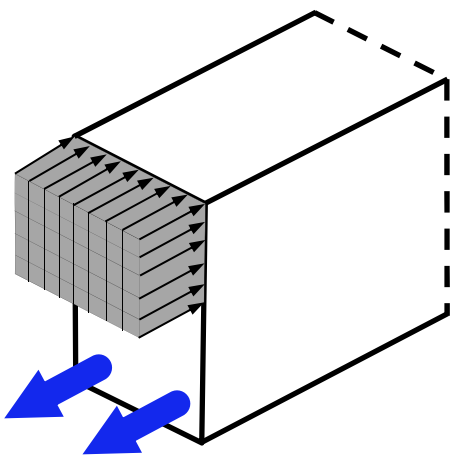


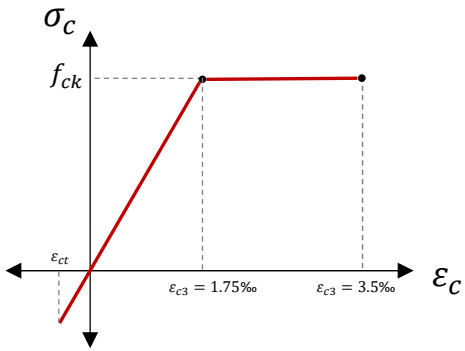


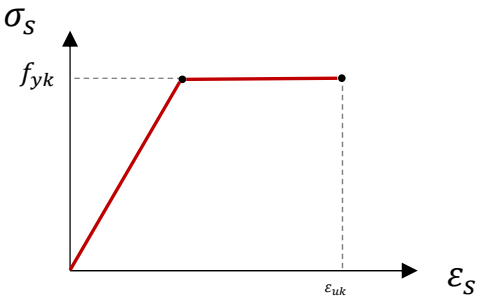
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL I.



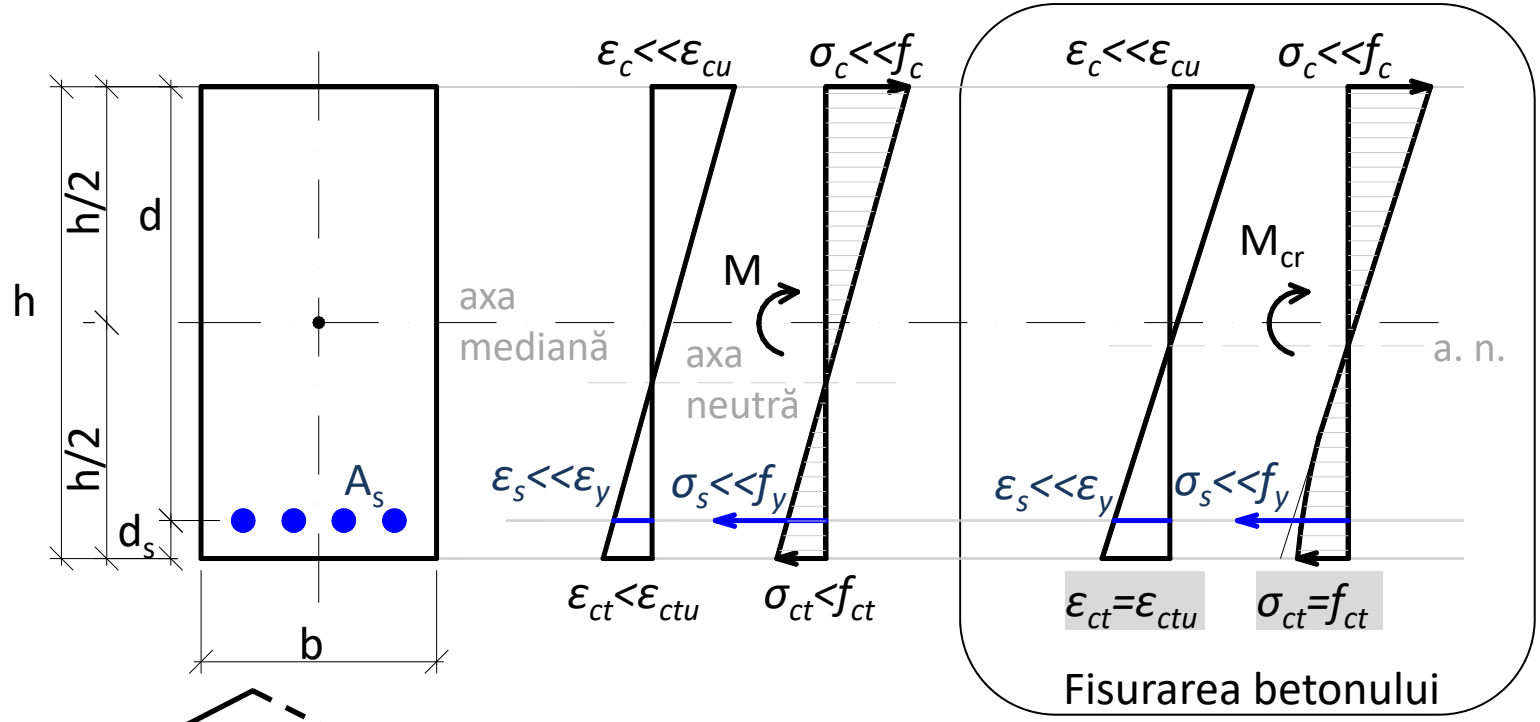


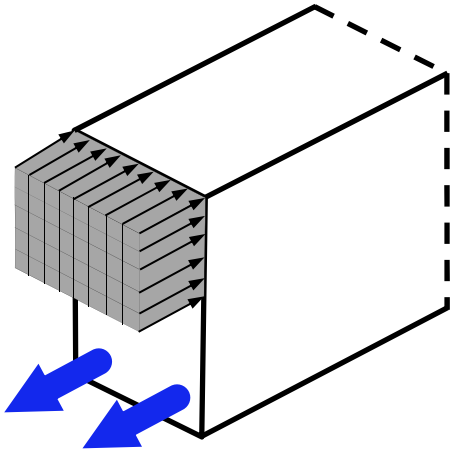


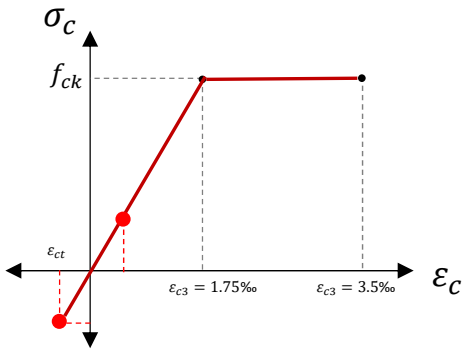


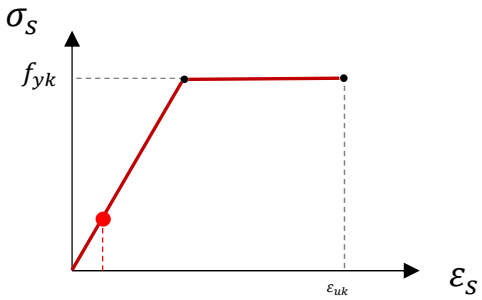
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL I.









STADIUL II. – stadiul de serviciu

- secţiunea activă este formată din betonul comprimat şi armătura întinsă

- încărcarea are valorile de serviciu date de exploatarea normală; se verifică SLS (deschidere fisuri şi deformaţii)

- rigiditatea la încovoiere (EI) scade din cauza fisurării

- comportare elasto-plastică funcţie de nivelul de solicitare, dar uzual nu se trece de comportarea elastică:

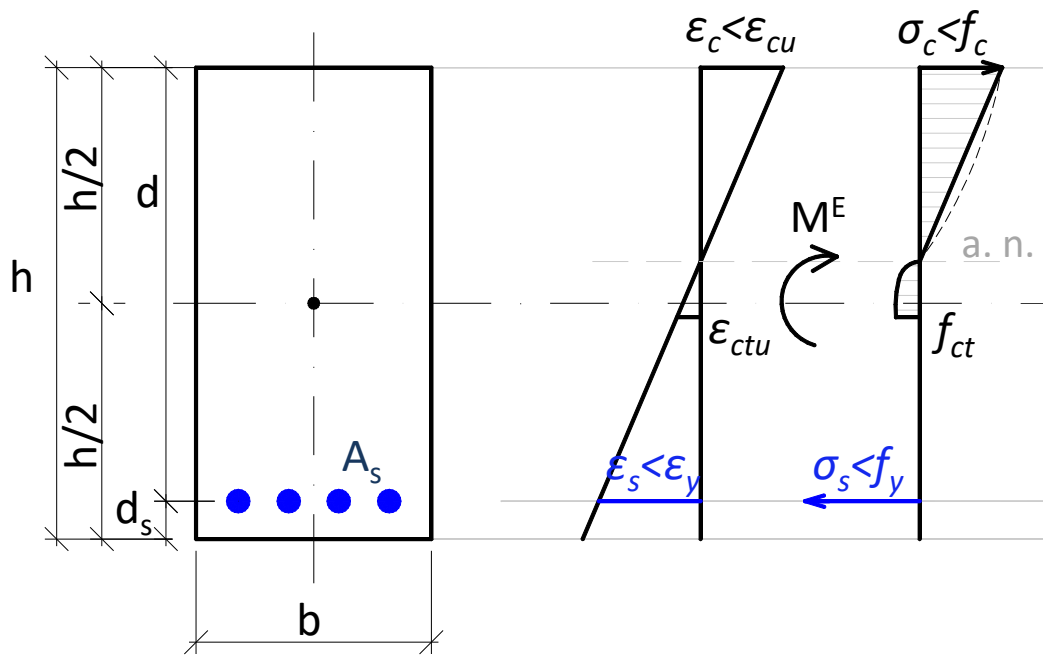
  - în betonul comprimat: $\sigma_c \approx 0{,}5\ f_c$

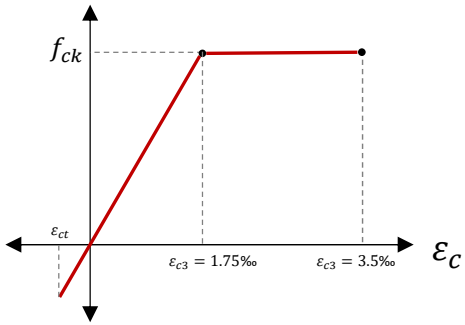
  - în armătura întinsă: $\sigma_s \approx 0{,}7...0.8\ f_y$

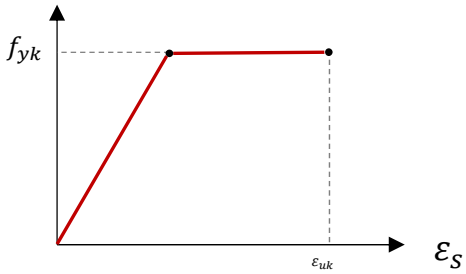
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL II. – stadiul de serviciu

→ Baza calculului la SLS și la oboseală



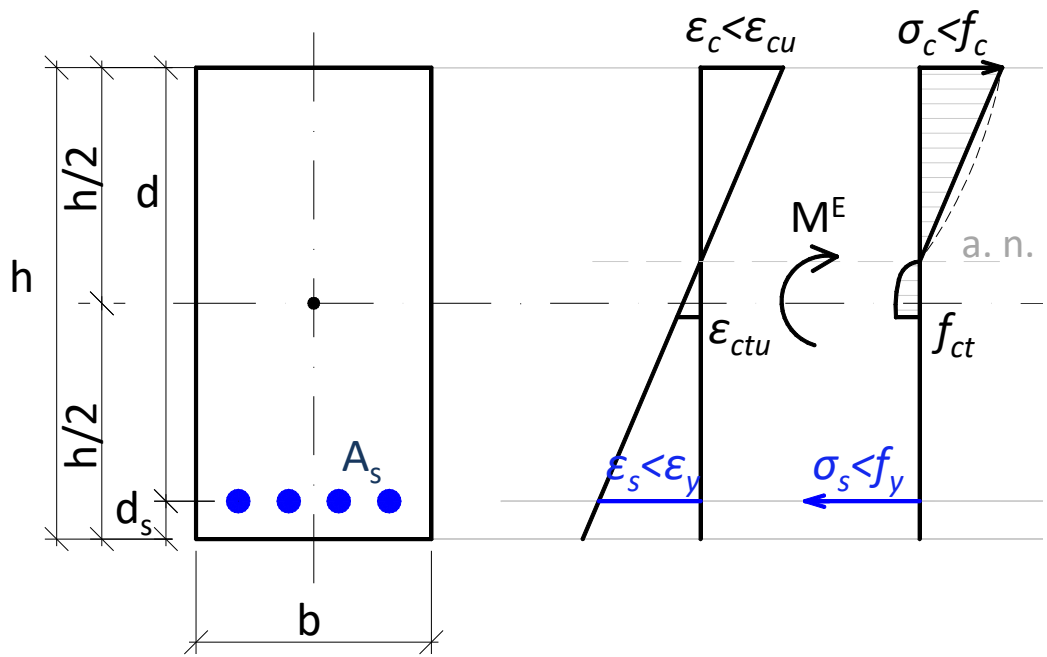


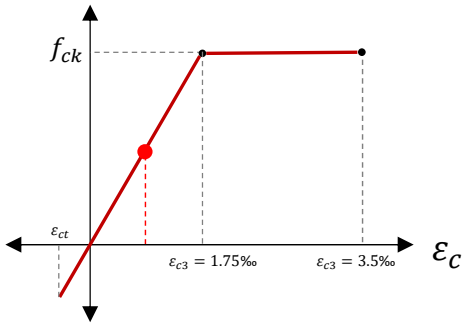


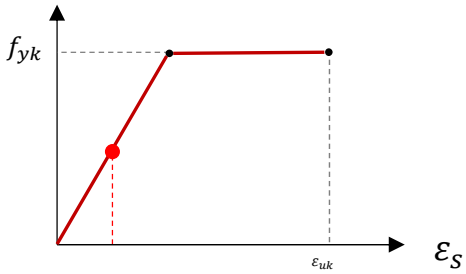
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL II. – stadiul de serviciu

→ Baza calculului la SLS și la oboseală



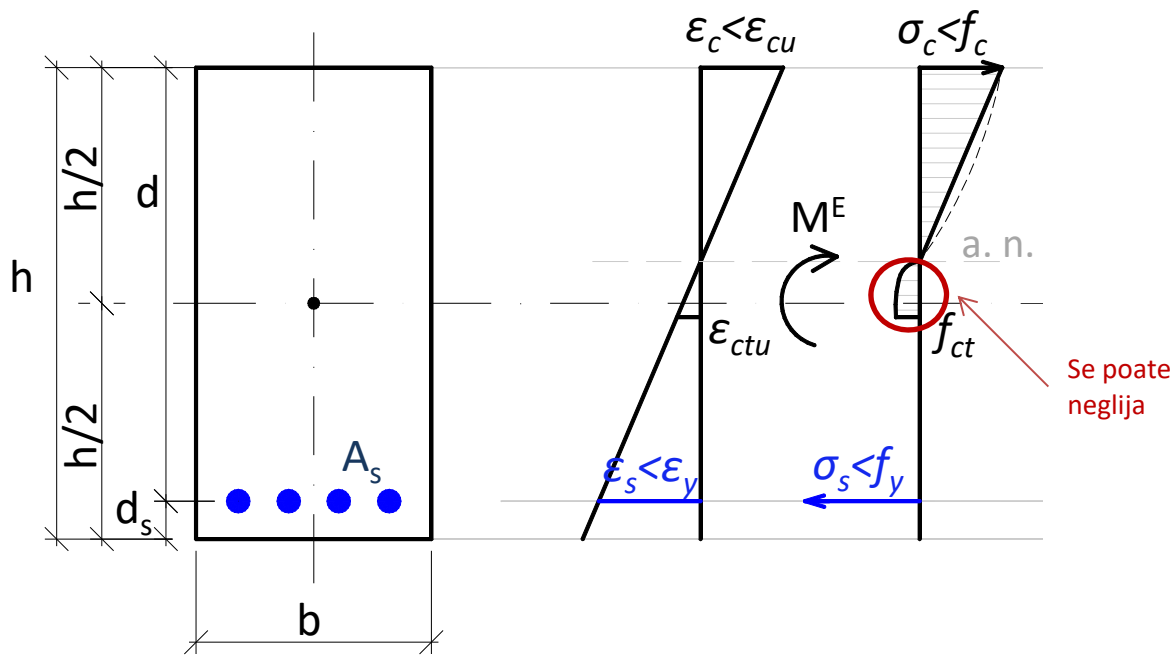


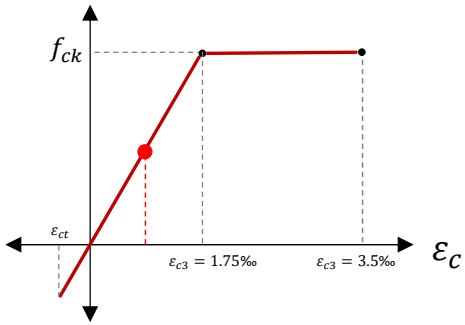


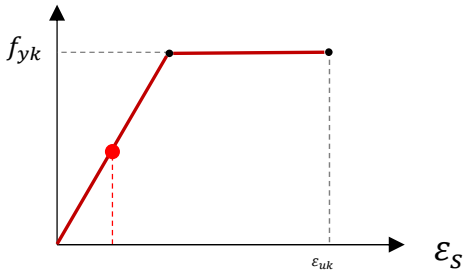
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL II. – stadiul de serviciu

→ Baza calculului la SLS și la oboseală







STADIUL III. – stadiul de rupere

-*a 3-a modificare calitativă* = armătura întinsă curge ($\sigma_s = f_y$) → **se formează o articulaţie plastică** (grinda se deformează sub sarcina constantă M_p)

Moment încovoietor de plasticizare: $M_p = A_s f_y z \approx 0{,}9 A_s f_y d$

- secţiunea activă scade până se zdrobeşte betonul comprimat

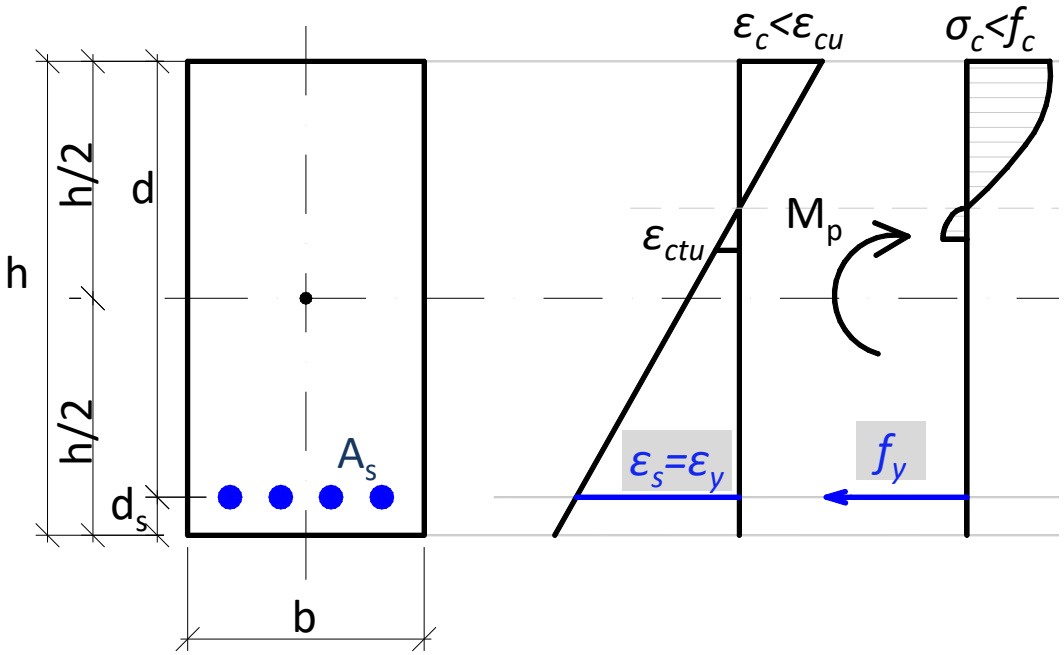
- încărcarea ajunge la valoarea maximă (de rupere)

- rigiditatea la încovoiere (EI) este minimă → deformata pronunţată a grinzii, duce la deschiderea exagerată a fisurilor

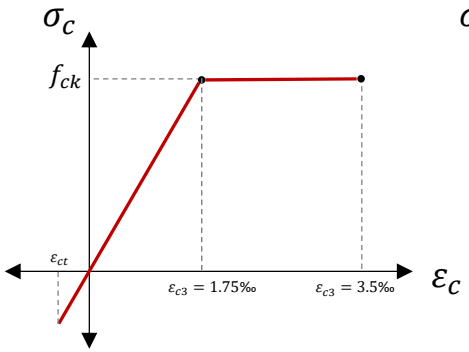
- comportare plastică – rupere cu caracter ductil, cu deformaţii mari (M_R)

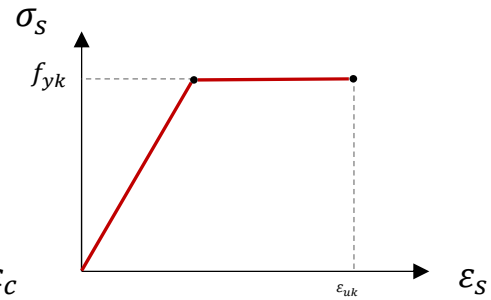
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL III. – stadiul de rupere



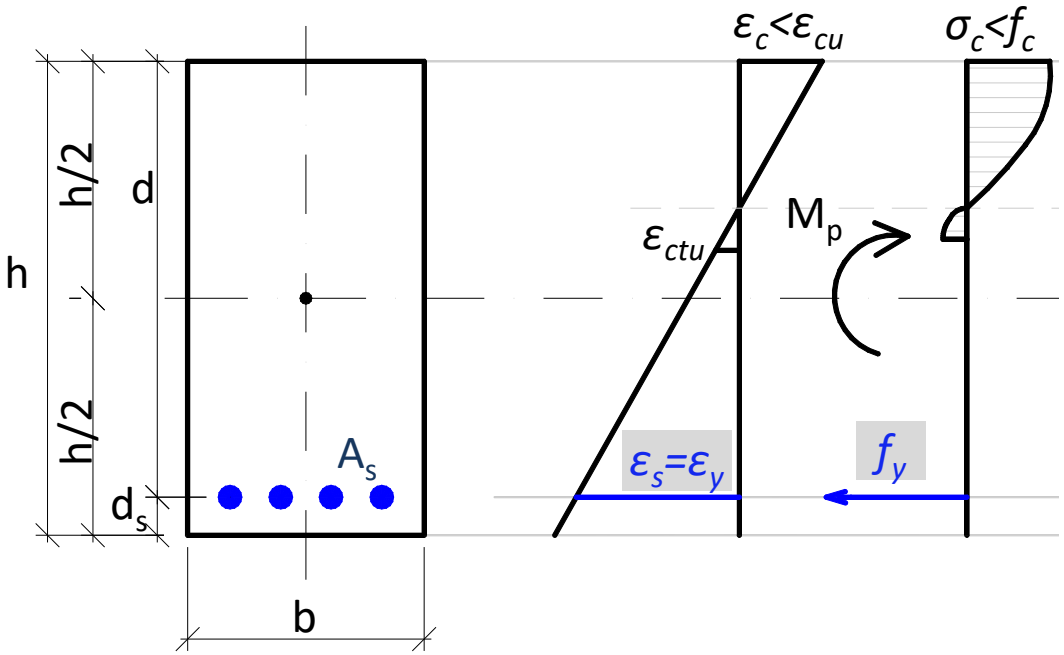
Curgerea armăturii



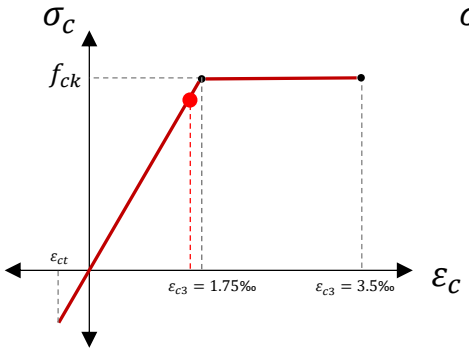


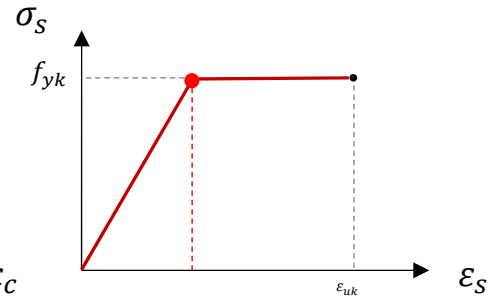
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL III. – stadiul de rupere



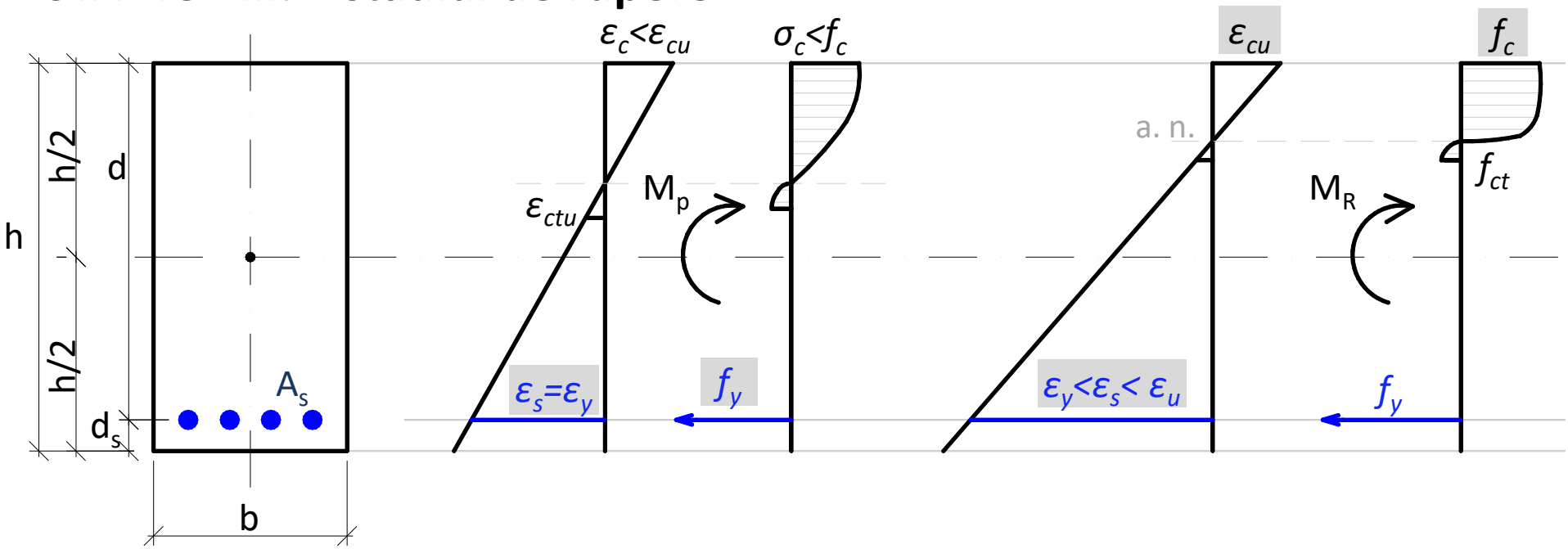
Curgerea armăturii





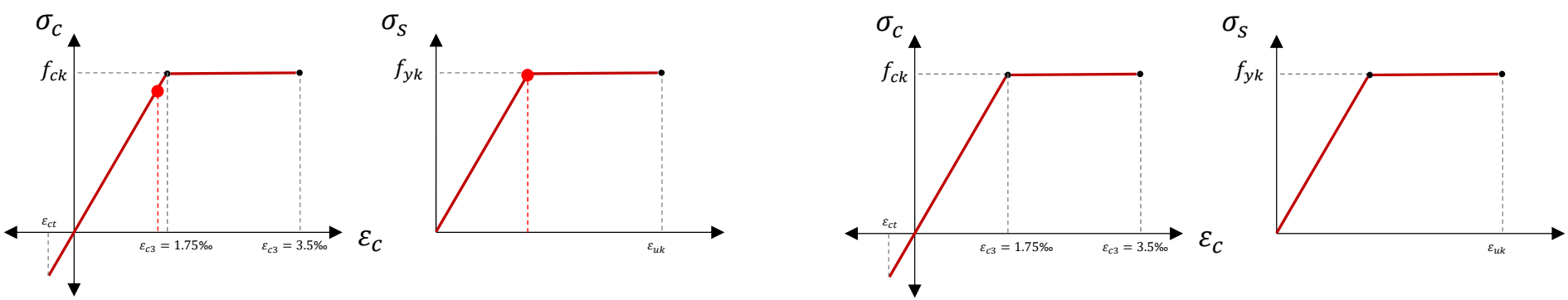
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL III. – stadiul de rupere



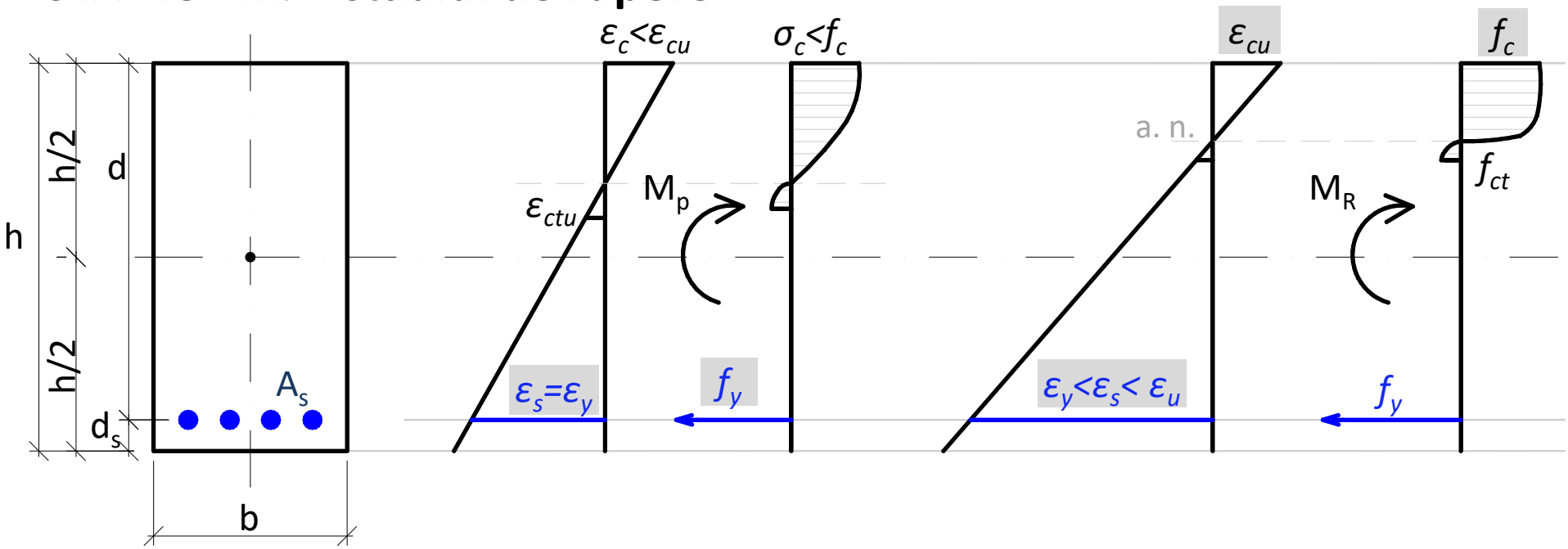
Curgerea armăturii

Zdrobirea betonului



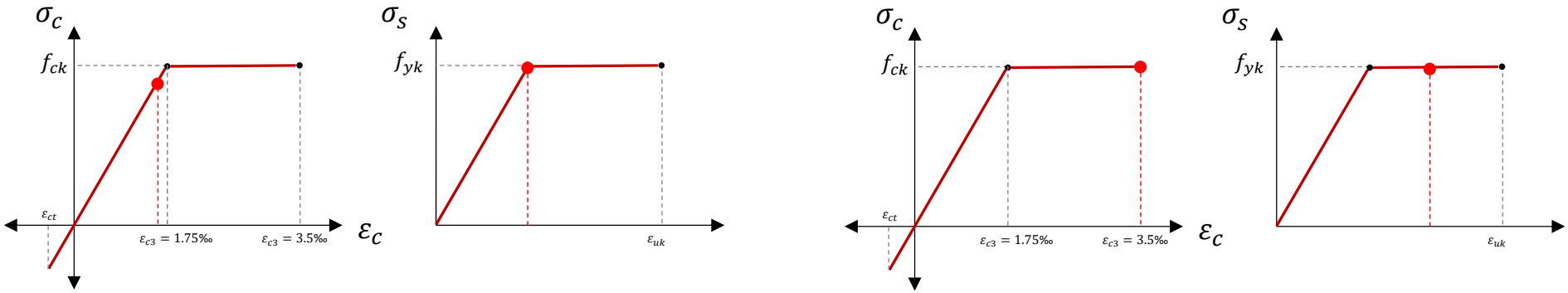
Working stages / Stadiile de lucru

STADIUL III. – stadiul de rupere

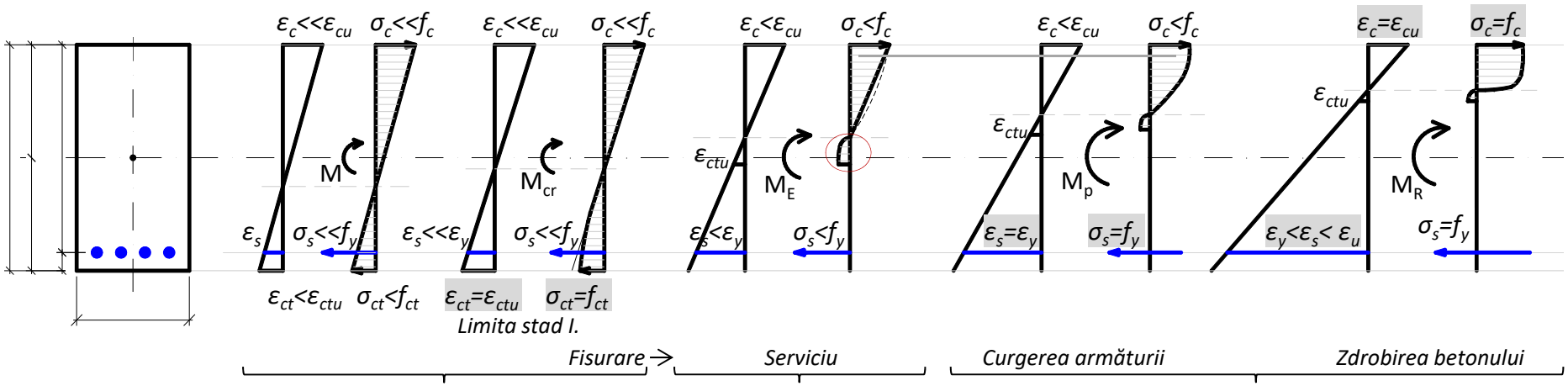


Curgerea armăturii

Zdrobirea betonului



Working stages / Stadiile de lucru



a)
- toată secțiunea activă
- deformații elastice
- a.n. sub axa mediană
- rigiditatea elementului este maximă
- stadiu instabil

b)
- plasticizarea betonului întins
- M_{cr} – momentul de fisurare

-reducerea rigidității
-zone active: betonul comprimat + armătura întinsă

- a.n. trece deasupra axei mediane

$$\sigma_c \cong 0.5 f_c$$

$$\sigma_s \cong (0.7 \div 0.8) f_y$$

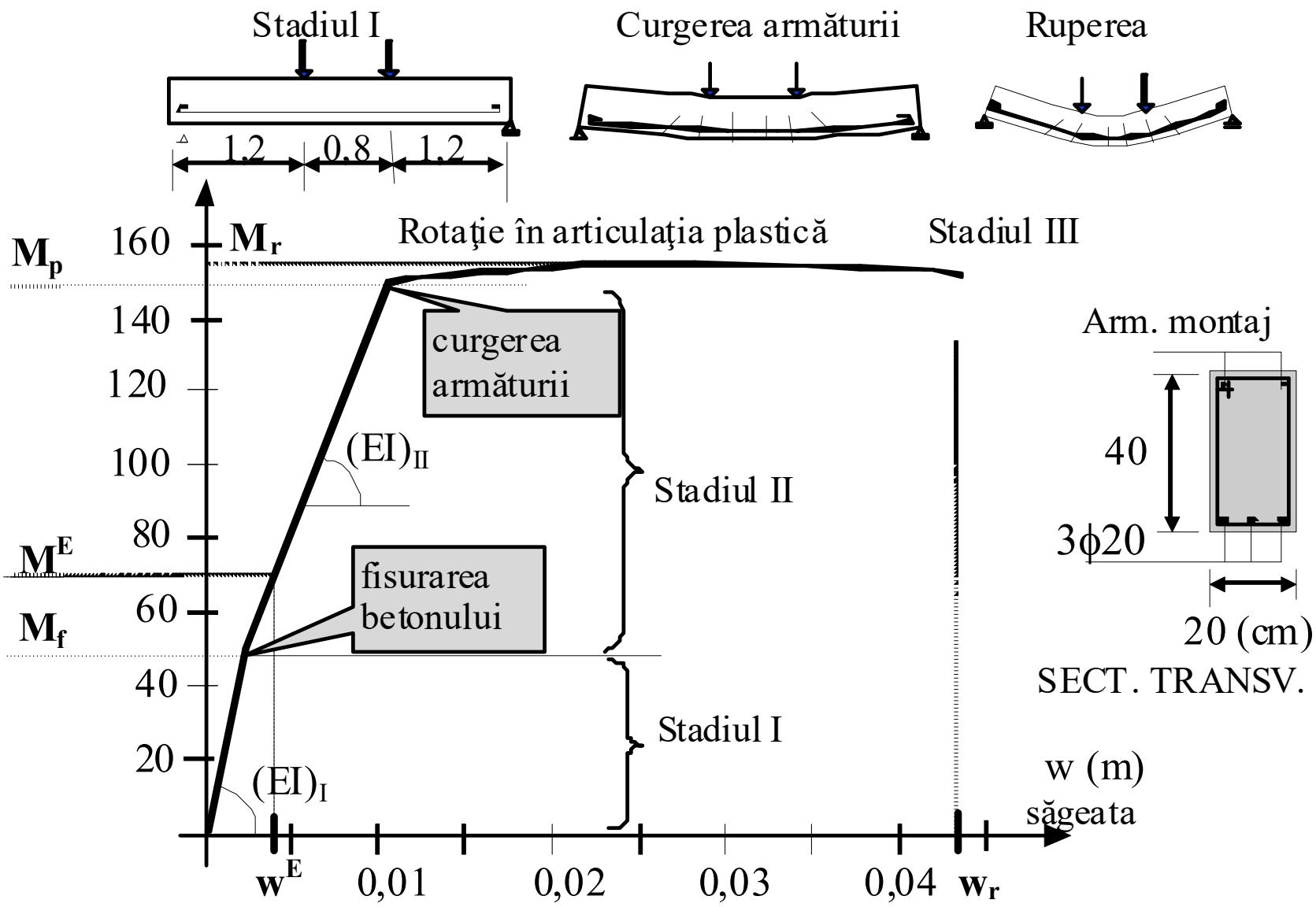
a)
- creșterea deformațiilor
- curgerea armăturii
- deformații plastice a betonului
- formarea articulației plastice
- $M_p \approx 0.9 A_s f_y d$

b)
- a.n. în poziția maximă
- rigiditatea secțiunii este minimă
- deformații foarte mari
- cedarea prin zdrobirea betonului comprimat
- comportare ductilă

TNG1 collins and mitchel - Shear and Torsion Design of Prestressed and Non-Prestressed Concrete Beams, PCI J 1980

Tamas Nagy Gyorgy; 28.02.2017

Working stages / Stadiile de lucru



Working stages / Stadiile de lucru

Ruperea pentru alte procente de armare decât mici şi mijlocii

- Beton simplu cu armătură de siguranţă → Se rupe armătura, care în acest caz are rolul de a reduce în oarecare măsură fragilitatea betonului simplu.

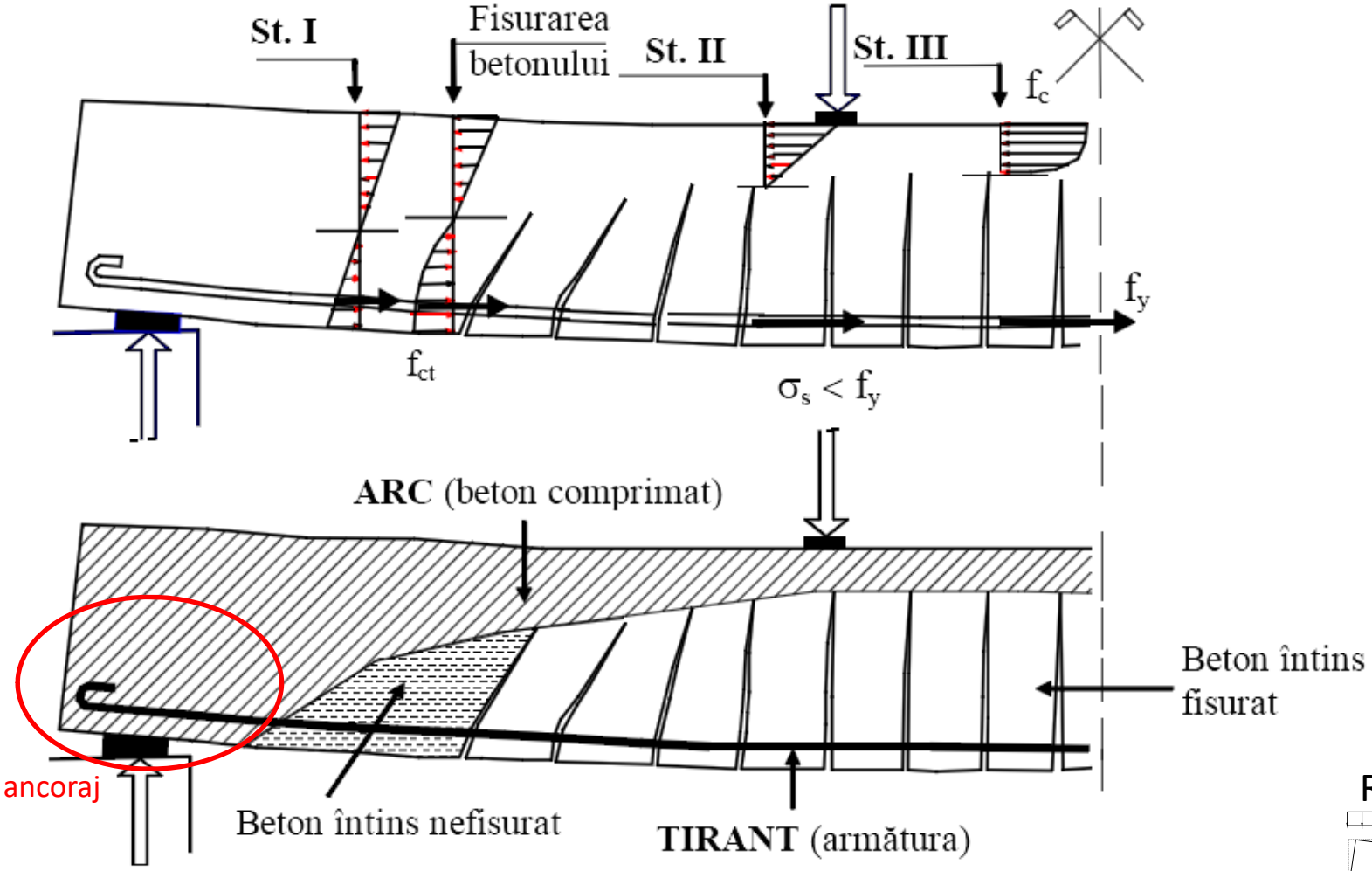
- Beton slab armat → Ruperea se produce fie prin zdrobirea betonului comprimat, fie prin deformaţii excesive ale armăturii.

- **Beton supraarmat** → Ruperea se produce prin zdrobirea betonului, fără ca armătura întinsă să ajungă la limita de curgere.

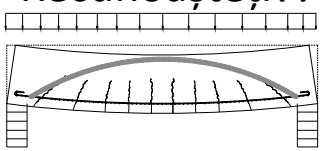
- deformaţii mici → caracter casant.
- soluţie neeconomică → armătura nu este folosită la capacitate maximă.

Working stages / Stadiile de lucru

- de-a lungul elementului se pot identifica toate stadiile de lucru
- elementul lucrează ca un arc de beton cu tirant de oțel



Recunoașteți?!



4.1 ANCORAREA ARMĂTURII ÎN BETON

4.2 STADIILE DE LUCRU

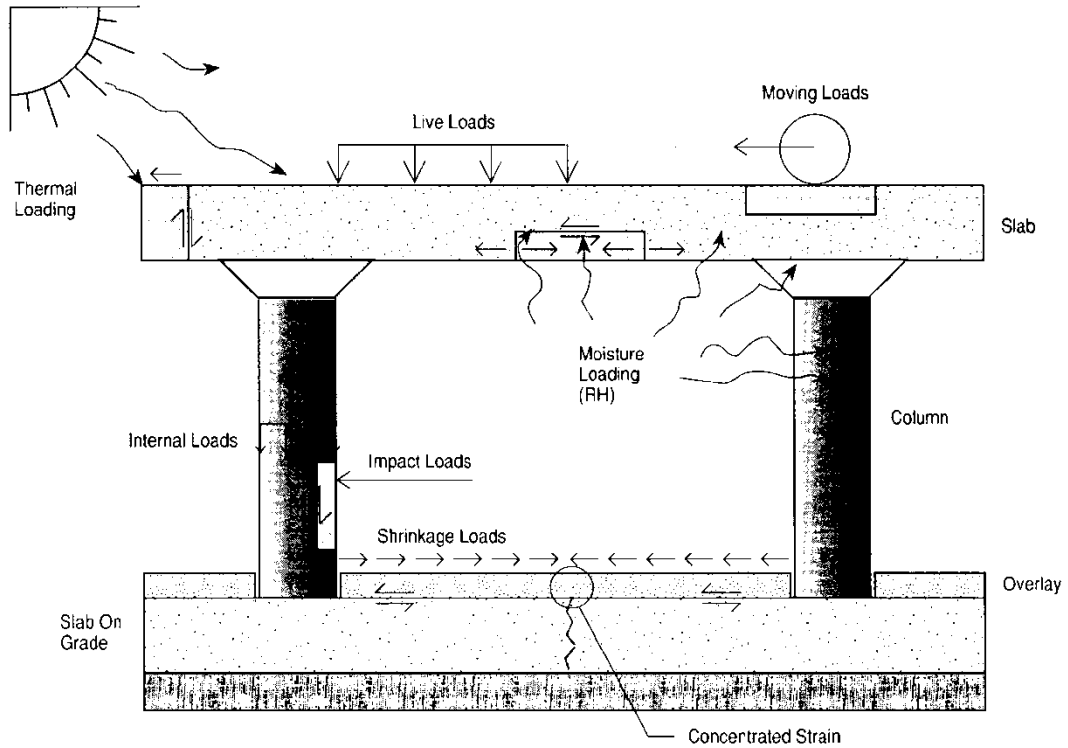
4.3 DURABILITATEA BETONULUI ARMAT

Durability / Durabilitatea

Durabilitatea = aptitudinea de a menţine caracteristici corespunzătoare de rezistenţă, stabilitate şi de funcţionalitate pe durata de viaţă proiectată, fără cheltuieli excesive de întreţinere, altele decât cele uzuale

→Coroziune: inițiată de cloruri sau de carbonatare
→Îngheţ/dezgheţ
→Reacţii alcalii-silicioase

Factorii care afectează structura →

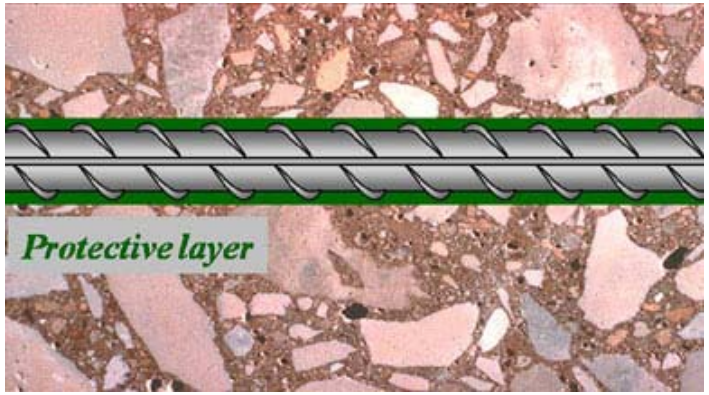


Durability / Durabilitatea

Coroziunea armăturilor – inițiată de cloruri

Durability / Durabilitatea

Coroziunea armăturilor – inițiată de carbonatare



În timp →

$Ca(OH)_2$ + CO_2 → $CaCO_3$ + H_2O

beton mediu nu mai este alcalin → nu mai există protecție

se reduce **pH 12-14** la **pH 7-8**

CO_2 → nu se întâmplă nimic!

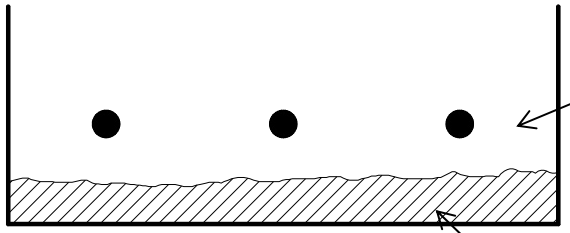
H_2O → nu se întâmplă nimic!

Dar CO_2 + H_2O → H_2CO_3 (acid carbonic)

După depasivare H_2CO_3 atacă armătura → ruginire

Durability / Durabilitatea

Coroziunea armăturilor – inițiată de carbonatare

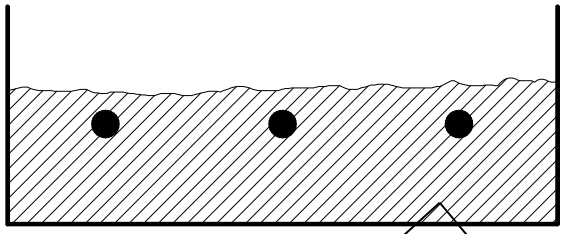


$Ca(OH)_2$ → barele sunt protejate

Stratul carbonatat

atac de CO_2

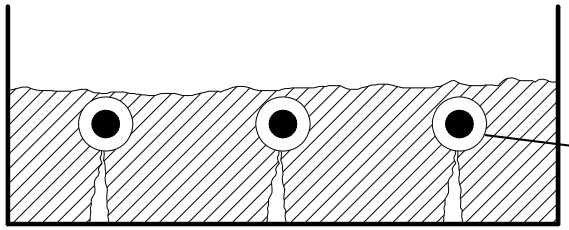
După o perioadă lungă



Stratul carbonatat

Atac de CO_2 **SAU** H_2O → FĂRĂ PROBLEME

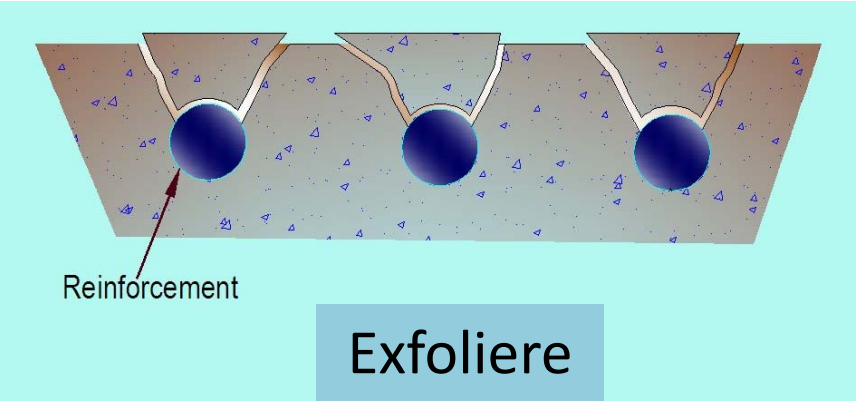
Atac de CO_2 **+** H_2O → **RUGINĂ**



RUGINĂ → fisuri longitudinale

Durability / Durabilitatea

Coroziunea armăturilor – inițiată de carbonatare



Durability / Durabilitatea

Coroziunea armăturilor – efecte suprapuse

Durability / Durabilitatea

Durata proiectată de viață a construcțiilor (valori orientative)

Categoria duratei vieții	Durata de viață proiectată a structurii (în ani)	Tipul construcției (Exemple)
5	=100	Structuri pentru clădiri monumentale și construcții inginerești importante
4	50 – 100	Structuri pentru clădiri și alte construcții curente
3	15 – 30	Structuri pentru construcții agricole sau similare
2	10 – 25	Părți de structură ce pot fi înlocuite
1	10	Structuri temporare

Durability / Durabilitatea

Durabilitatea betonului este influenţată de următorii factori:

- **condiţiile de expunere:** atmosfera, solul, apa de mare, săruri, abraziune mecanică, depozitare sau contact cu substanţe chimice → **clasa de expunere X**

- **tipul de ciment** → pot fi necesare cimenturi speciale rezistente la agenţii chimici

- **calitatea betonului** → se alege uzual din condiţii de rezistenţă, dar poate să fie necesară o clasă superioară în anumite medii

- **grosimea de acoperire cu beton a armăturii** → se calculează funcţie de clasa de expunere, are rolul de a proteja armătura de pătrunderea substanţelor agresive, dar şi în caz de incendii

- **deschiderea fisurilor** → dacă nu depăşesc deschiderile admise (general 0,3 mm), nu sunt în general periculoase

Dacă factorii sunt favorabili, durabilitatea betonului este foarte mare.

Durability / Durabilitatea

0 → Nici un risc de coroziune

C → Carbonation = Carbonatare

D → Deicing salt = Sare pentru dezgheţare

S → Seawater = Apă de mare

F →Frost = Îngheţ

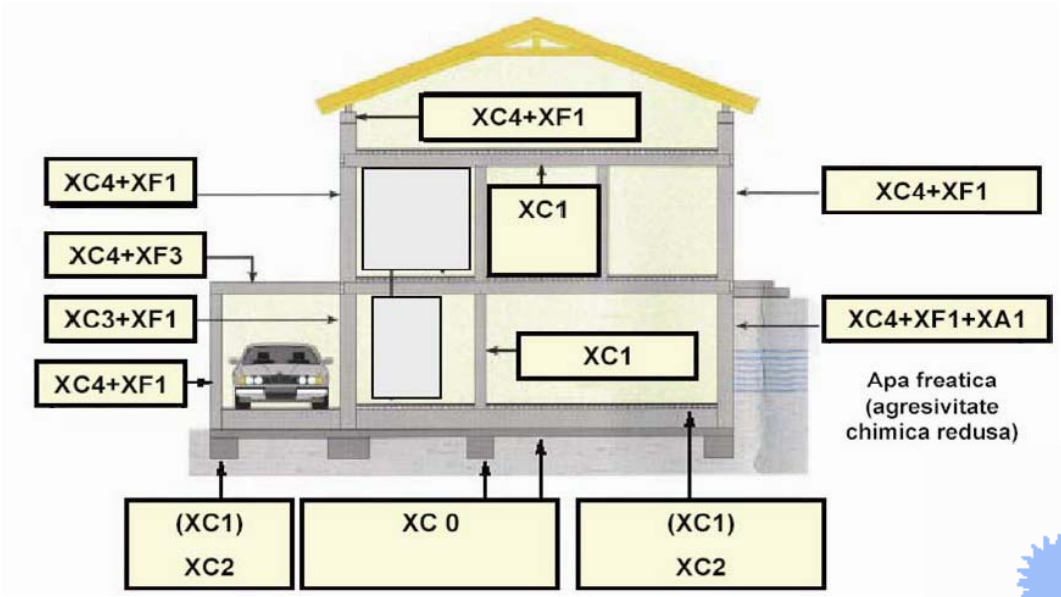
A → Agressive environmet = Agresivitate chimică

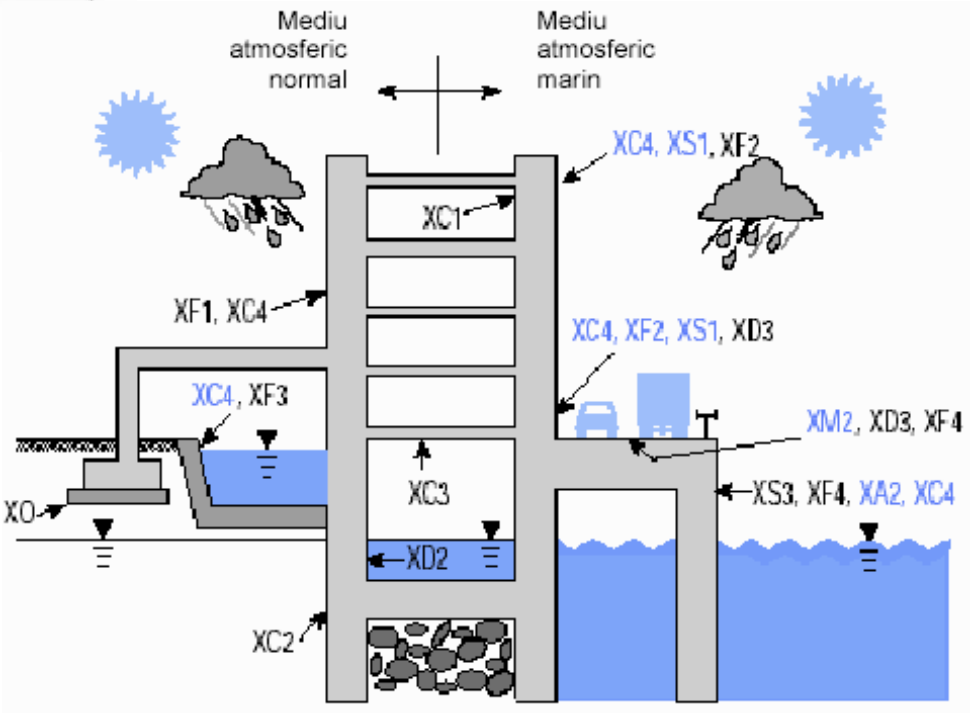
+ M → Mechanical abrasion = Uzură mecanică

Notare clasă	Descriere mediu înconjurător:	Exemple informative care prezintă alegerea claselor de expunere
1 Nici un risc de coroziune, nici de atac		
X0	Beton simplu și fără piese metalice înglobate: orice expunere în afară de înghet/dezgheț, de abraziune și de atac chimic. Beton armat sau cu piese metalice înglobate: foarte uscat	Beton la interiorul clădirilor unde umiditatea aerului ambiant este foarte scăzută
2 Coroziune indusă de carbonatare		
XC1	Uscat sau umed în permanență	Beton la interiorul clădirilor unde umiditatea aerului ambiant este scăzută Beton imersat în permanență în apă
XC2	Umed, rareori uscat	Suprafețe de beton supuse la contact de lung termen cu apa Un mare număr de fundatii
XC3	Umiditate moderată	Beton la interiorul clădirilor unde umiditatea aerului ambiant este medie sau ridicată Beton exterior adăpostit de ploaie
XC4	Alternativ umed și uscat	Suprafețe de beton supuse la contact cu apa, dar nu intră în clasa de expunere XC2
3 Coroziune indusă de cloruri		
XD1	Umiditate moderată	Suprafețe de beton expuse la cloruri transportate pe cale aeriană
XD2	Umed, rareori uscat	Piscine Elemente de beton expuse la ape industriale care contin cloruri
XD3	Alternativ umed și uscat	Elemente de pod expuse la stropire cu apă care contin cloruri Șosele Dale de parcaje pentru staționare vehicule
4 Coroziune indusă de cloruri prezente în apa de mare		
XS1	Expus la aer vehiculând sare marină dar fără contact direct cu apa de mare	Structuri pe sau în proximitatea unei coaste
XS2	Imersat în permanentă	Elemente de structuri marine
XS3	Zone de mamage, zone supuse la stropire sau la brumă	Elemente de structuri marine
5. Atac înghet/dezgheț		
XF1	Saturarare moderată în apă, fără agent antipolei	Suprafete verticale de beton expuse ploii și înghetului
XF2	Saturarare moderată în apă, cu agent antipolei	Suprafețe verticale de beton în lucrări rutiere expuse înghetului și aerului vehiculând agenți de dezghetare
XF3	Saturarare puternică în apă, fără agent antipolei	Suprafete orizontale de beton expuse la ploaie și la înghet
XF4	Saturarare puternică în apă, cu agent antipolei sau apă de mare	Drumuri și tabliere de pod expuse la agenți de dezghet. Suprafete de beton verticale direct expuse la stropirea cu agenți de dezghet și la înghet. Zone ale structurilor marine supuse la stropire și expuse la înghet
6. Atacuri chimice		
XA1	Mediu cu slabă agresivitate chimică după EN 206-1, tabelul 2	Soluri naturale și apă în sol
XA2	Mediu cu agresivitate chimică moderată după EN 206-1, tabelul 2	Soluri naturale și apă în sol
XA3	Mediu cu agresivitate chimică ridicată după EN 206-1, tabelul 2	Soluri naturale și apă în sol

Durability / Durabilitatea

Condiții de mediu → suprapunerea efectelor





Durability / Durabilitatea

Strategii de luat în considerare pentru creșterea durabilității:

A. **Evitarea reacţiilor de degradare** – se obţine prin:

→ „schimbarea mediului” aplicarea pe elemente a unor membrane, pelicule de protecţie etc.;

→ alegerea unor materiale nereactive: oţel inoxidabil, oţel peliculizat, agregate nereactive, cimenturi rezistente la sulfaţi;

→ inhibarea reacţiilor prin protecţie catodică, utilizarea antrenorilor de aer pentru sporirea rezistenţei la îngheţ-dezgheţ.

B. **Selectarea materialelor** şi **compoziţiilor** optime, potrivite pentru a rezista reacţiilor de degradare considerate şi aşteptate:

→ compoziţia adecvată a betonului;

→ grosimi de acoperire cu beton corelate cu condiţiile de mediu;

→ aplicarea unei tehnologii adecvate de compactare a betonului;

→ sporirea secţiunii elementelor faţă de cele rezultate din calcul, dacă este necesar.

Durability / Durabilitatea

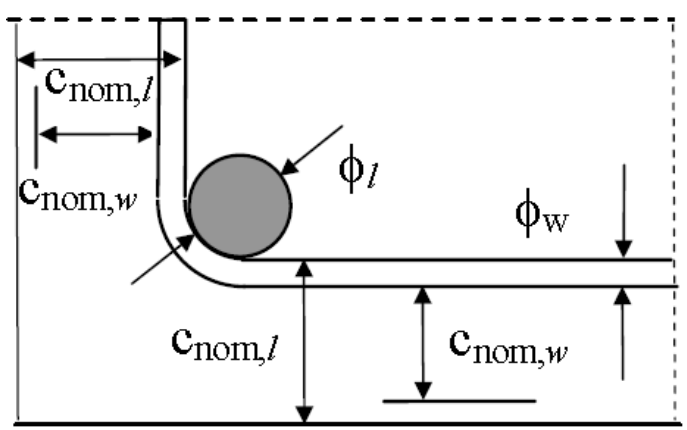
Acoperirea cu beton este distanţa între suprafaţa armăturii (incluzând etrierii sau agrafele) până la suprafaţa betonului.

Acoperirea cu beton asigură:

- transmiterea forțelor de aderentă de la armătură la beton
- protecția oțelului împotriva coroziunii
- protecția la foc (nu se tratează aici)

Valoarea nominală a acoperirii: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

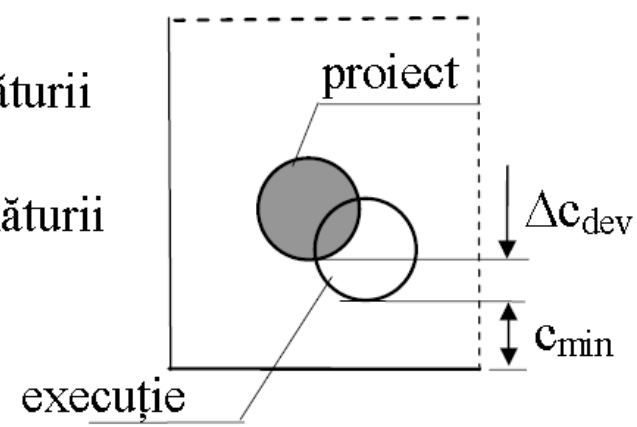
Această valoare trebuie specificată pe desene!!!



a. $c_{nom,l} \geq c_{nom,w} + \phi_w$

ϕ_l – diametrul armăturii longitudinale

ϕ_w – diametrul armăturii transversale



b.

Durability / Durabilitatea

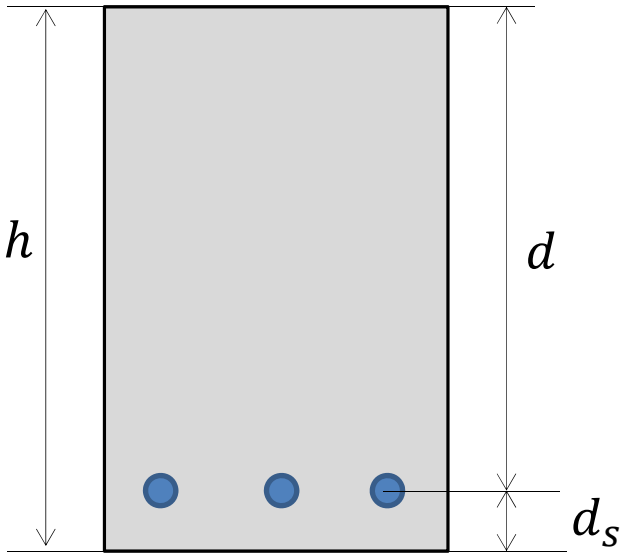
Acoperirea cu beton este distanţa între suprafaţa armăturii (incluzând etrierii sau agrafele) până la suprafaţa betonului.

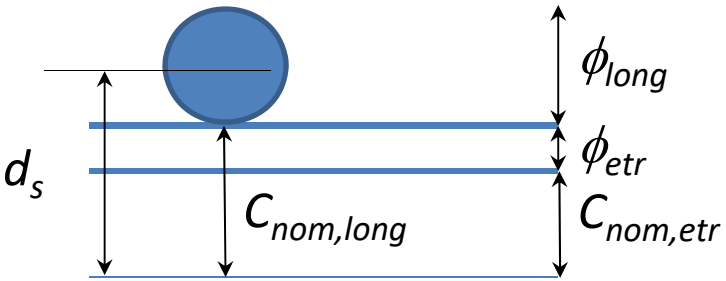
Acoperirea cu beton asigură:

- transmiterea forțelor de aderentă de la armătură la beton
- protecția oțelului împotriva coroziunii
- protecția la foc (nu se tratează aici)

Valoarea nominală a acoperirii: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

Această valoare trebuie specificată pe desene!!!





Durability / Durabilitatea

Acoperirea minimă

$$c_{min} = max\,\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add};\ 10\ mm\}$$

$$c_{min} = max\,\{\underbrace{c_{min,b}}_{\text{aderență}}; \underbrace{c_{min,dur}}_{\text{durabilitate}};\ 10\ mm\}$$

- $c_{min,b}$ - este acoperirea minimă de beton din condiţii de aderenţă
- $c_{min,dur}$ - acoperirea minimă de beton din *condiţii de mediu* (A.N.)
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ - coef. de siguranță adițională (în general =0) (A.N.)
- $\Delta c_{dur,st}$ - reducerea acoperirii de beton în cazul oțelului inoxidabil (A.N.)
- $\Delta c_{dur,add}$ - reducerea acoperirii de beton în cazul protecției suplimentare (A.N.)

Durability / Durabilitatea

Acoperirea minimă

$c_{min,b} \geq \phi$

$c_{min,dur}$ *- funcție de clasa structurală*

Cerință de mediu pentru $c_{min,dur}$ (mm)							
Clasa structurală	Clasa de expunere conform tabelul 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1/XS1	XD2 / XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Δc_{dev} = 5 mm plăci monolite (A.N.)
= 10 mm restul elementelor (A.N.)

Durability / Durabilitatea

Clasificare structurală recomandată

Criteriu	Clasa structurală						
	Clasa de expunere după tabelul 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3/XS2/ XS3
Durata de utilizare din proiect de 100 ani	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase	Majorare cu două clase
Clasa de rezistență[1) 2)]	≥ C30/37 micşorare cu 1 clasă	≥ C30/37 micşorare cu 1 clasă	≥ C35/45 micşorare cu 1 clasă	≥ C40/50 micşorare cu 1 clasă	≥ C40/50 micşorare cu 1 clasă	≥ C40/50 micşorare cu 1 clasă	≥ C45/55 micşorare cu 1 clasă
Element asimilabil unei plăci (poziția armăturilor neafectată de procesul de construcție)	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă
Control special al calității de producție a betonului	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă	micşorare cu 1 clasă

MULȚUMESC FRUMOS PENTRU ATENȚIE!

Dr.ing. NAGY-GYÖRGY Tamás

profesor

E-mail: tamas.nagy-gyorgy@upt.ro

Tel: +40 256 403 935

Web: http://www.ct.upt.ro/users/TamasNagyGyorgy/index.htm

Birou: A219