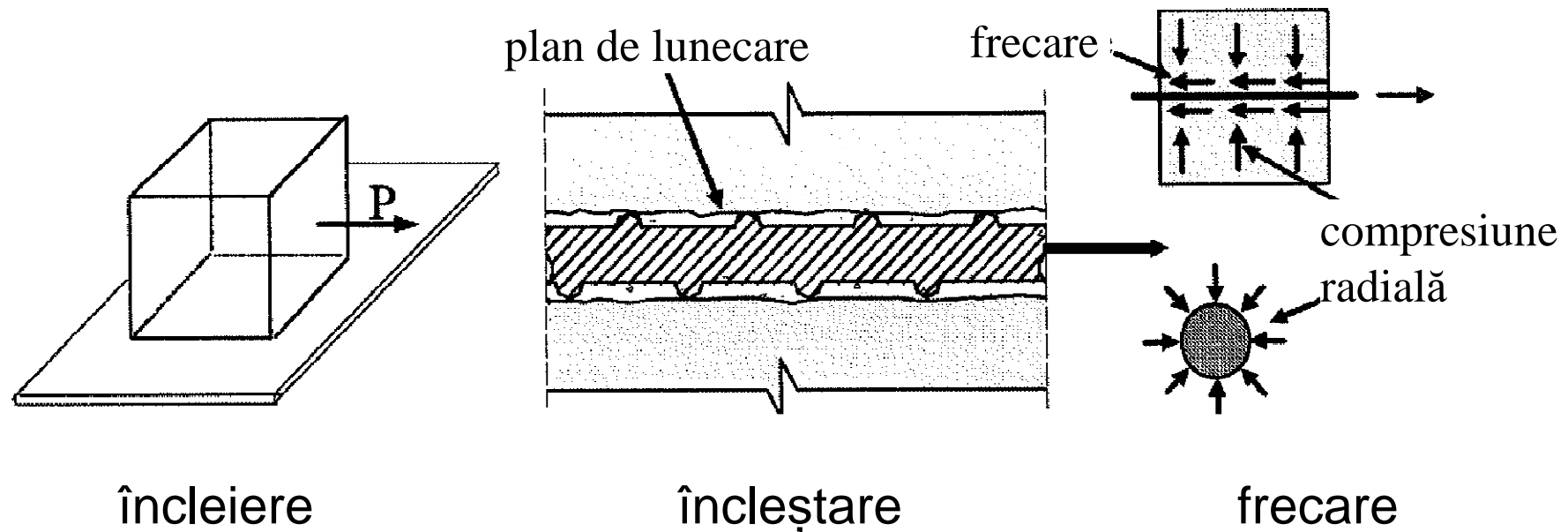


DESCRIEREA FENOMENULUI

- Betonul și armătura lucrează împreună până la rupere ca **beton armat** datorită fenomenului de aderență.
- Aderența apare pe suprafața de contact la întărirea betonului și împiedică alunecarea armăturilor în beton.
- Cauzele fenomenului:



EFORTUL UNITAR DE ADERENȚĂ

- Test exp. de smulgere a unei bare:

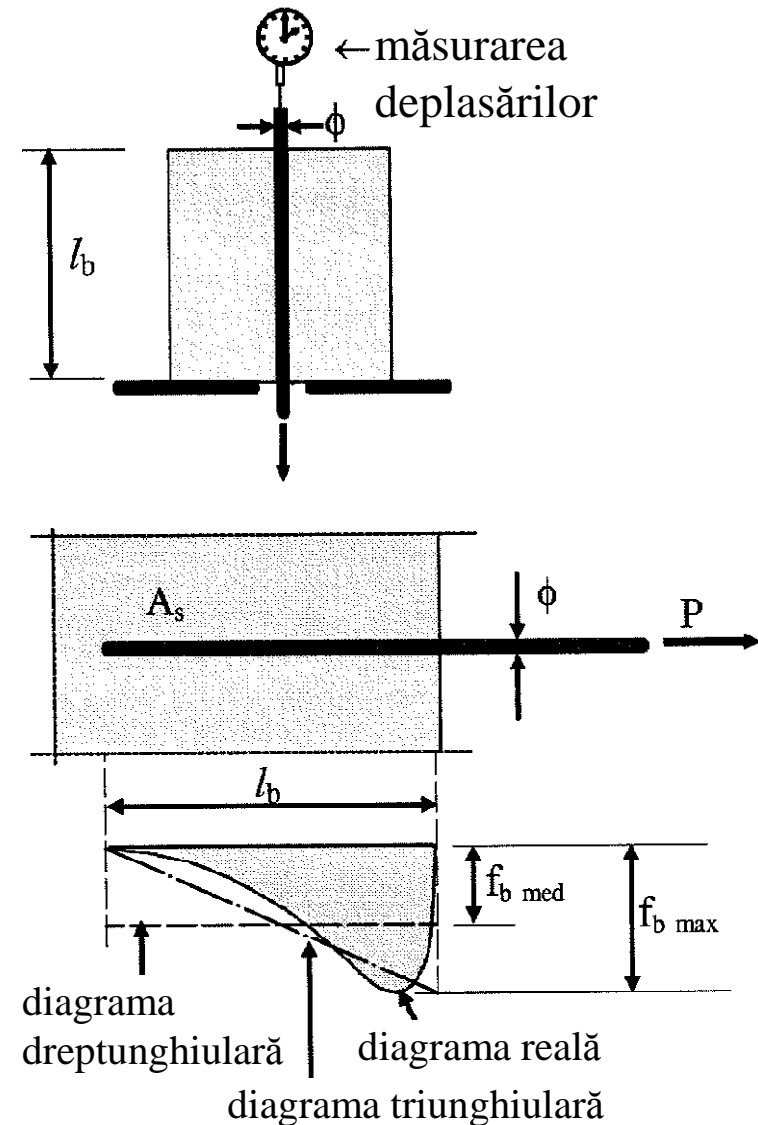
- Efortul unitar mediu de aderență:

$$f_{b \text{ med}} = P / (\pi \cdot \phi \cdot l_b)$$

- Lungimea de ancoraj necesară dacă aderența se distruge simultan cu curgerea armăturii:

$$\frac{\pi \cdot \phi^2}{4} f_y = \pi \cdot \phi \cdot l_b \cdot f_{b \text{ med}}$$

$$\Rightarrow l_b = \frac{\phi \cdot f_y}{4 \cdot f_{b \text{ med}}}$$



FACTORI DE INFLUENȚĂ PENTRU ADERENȚĂ

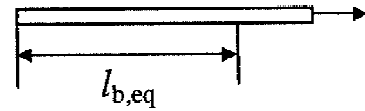
- Rezistența la întindere a betonului
- Grosimea stratului de acoperire cu beton
- Distanța dintre armături
- Suprafața barelor: profilate mai bune decât netede
- Diametrul și numărul barelor
- Poziția armăturilor în raport cu direcția de turnare a betonului:
 - poziția verticală mai bună decât cea orizontală
 - bare poziționate jos în secțiunea transversală mai avantajos decât sus
- Prezența armăturilor transversale

ARMĂTURILE LONGITUDINALE

- Barele de armătură, sârmele sau plasele sudate trebuie ancorate astfel încât eforturile de aderență să fie transmise în siguranță în beton fără a produce fisurarea sau desprinderea betonului.
- Ancorare prin:
 - aderență – pentru bare cu capete drepte;
 - ciocuri de capăt de diferite forme;
 - armături transversale (sudate sau legate cu sârmă).
- Aderența: valorile eforturilor de aderență depind de natura suprafeței armăturilor, rezistența la întindere a betonului și confinarea betonului înconjurător. Confinarea depinde de acoperirea cu beton, prezența armăturilor transversale și de tensiunile transversale.

METODE DE ANCORARE:

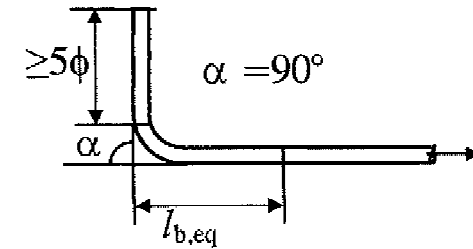
- Bare cu capăt drept:



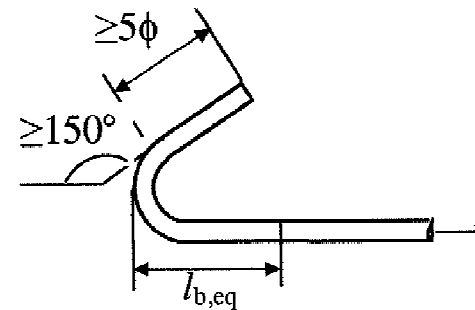
- Ciocuri de capăt:

- Lungimea de ancorare de referință, $l_{b,rqd}$, pentru orice formă, măsurată în lungul axei:

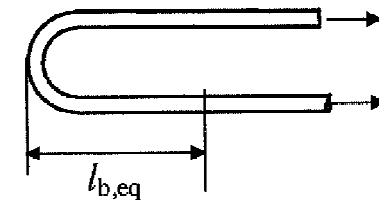
- capăt îndoit la 90° :



- capăt îndoit la $90^\circ \dots 150^\circ$:

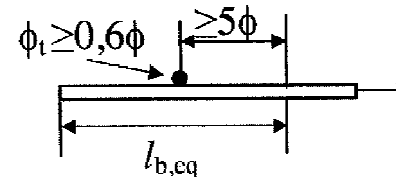


- buclă:



- Bare transversale sudate:

$$l_{b,eq} = \alpha_4 \cdot l_{b,rqd}$$

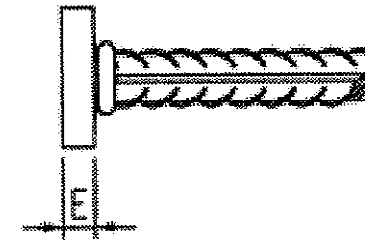
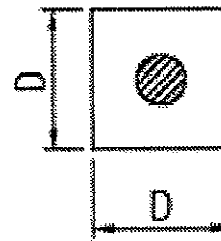
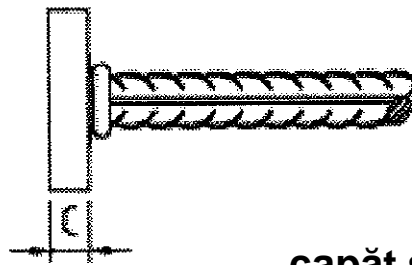
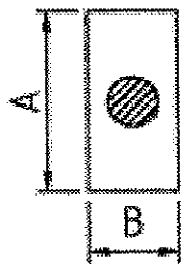
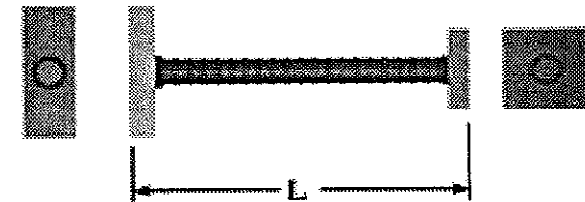


METODE DE ANCORARE:

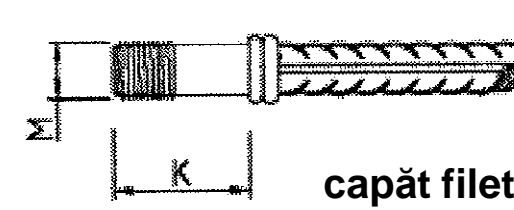
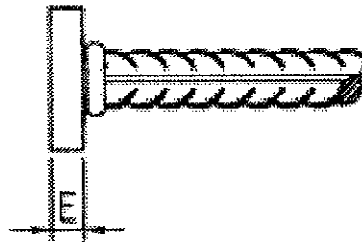
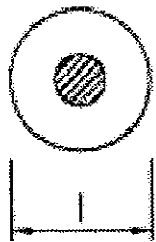
- Piese de capăt:



Headed Reinforcement Corp. USA



capăt sudat



capăt filetat

EFORTUL UNITAR ULTIM DE ADERENȚĂ:

- Valoarea efortului unitar ultim de aderență trebuie să prevină distrugerea aderenței.
- Valoarea de calcul a efortului unitar ultim de aderență, f_{bd} , pt. bare profilate (EUROCODE 2):

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

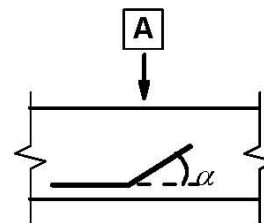
unde:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk0.05} / \gamma_c$$

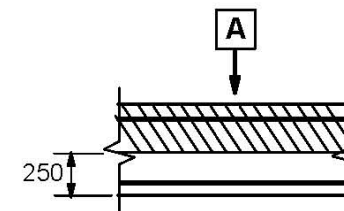
(până la max. C60/75);

η_1 = coeficient funcție de condițiile de aderență și poziția barei în timpul betonării;

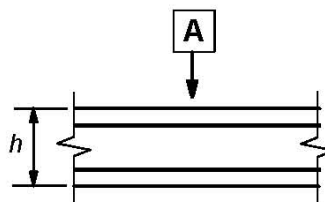
η_2 = coeficient funcție de diametrul barei.



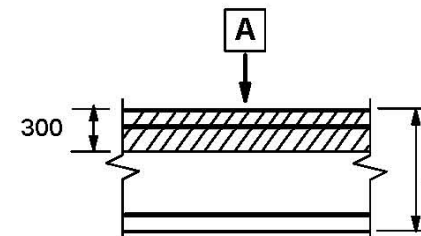
a) $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$



c) $h > 250$ mm A Direcția de betonare



b) $h \leq 250$ mm



d) $h > 600$ mm

a) & b) condiții de aderență
"bune" pt. toate barele

c) & d) zona nehașurată - condiții de aderență "bune"
zona hașurată - condiții de aderență "mediocre"

LUNGIMEA DE ANCORARE DE REFERINȚĂ:

- Calculul lungimii de ancorare necesare ia în considerare: tipul de oțel; proprietățile de aderență ale barelor.
- Lungimea de ancorare de referință, $l_{b,rqd}$, pt. o bară dreaptă, presupunând un efort unitar de aderență constant f_{bd} , va fi:
$$l_{b,rqd} = (\phi / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd})$$
unde: $\sigma_{sd} = f_{yd}$ (pt. siguranță în proiectare).
- Pt. bare înclinate, lungimea de ancorare de referință, l_b , și lungimea de ancorare de calcul, l_{bd} , se măsoară pe axa barei.

LUNGIMEA DE ANCORARE DE CALCUL, l_{bd} (EC 2):

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

unde:

- α_1 – funcție de forma barelor;
- α_2 – funcție de acoperirea minimă cu beton;
- α_3 – funcție de confinarea cu bare transversale;
- α_4 – funcție de barele transversale sudate existente de-a lungul l_{bd} ;
- α_5 – funcție presiunea perpendiculară pe planul de despicare de-a lungul l_{bd} ;

$l_{b,min}$ – lungimea de ancorare minimă:

- ancorarea barelor întinse:

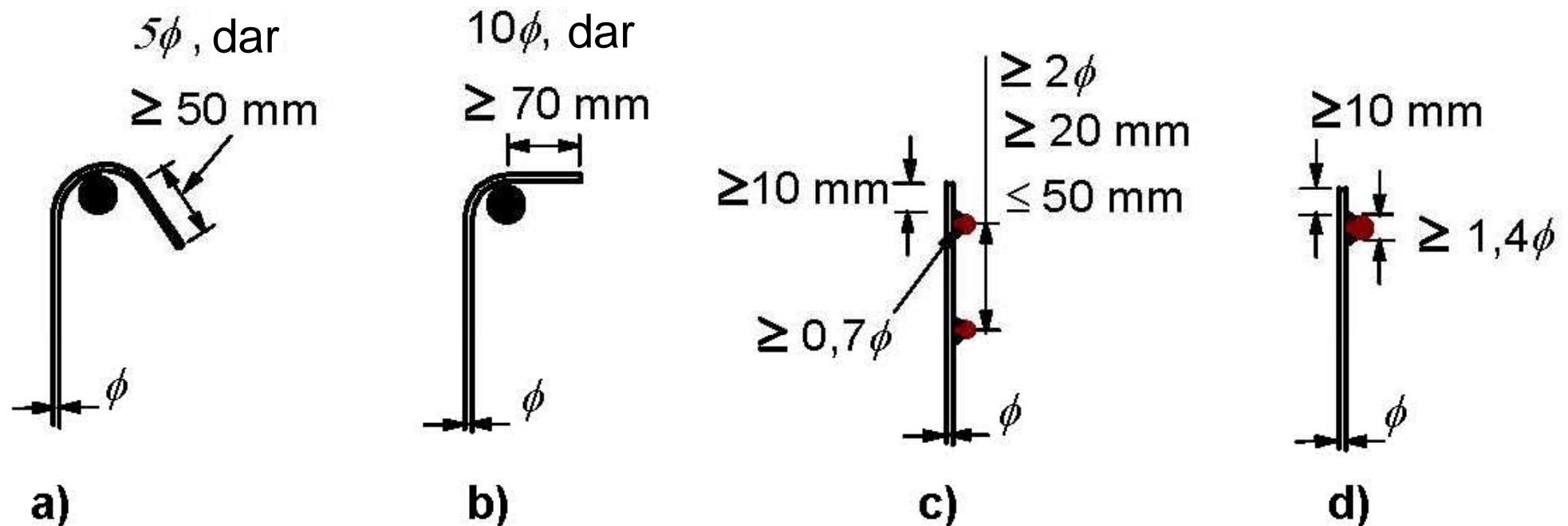
$$l_{b,min} > \max \{0.3 \cdot l_{b,rqd} ; 10 \cdot \phi ; 100 \text{ mm}\}$$

- ancorarea barelor comprimate:

$$l_{b,min} > \max \{0.6 \cdot l_{b,rqd} ; 10 \cdot \phi ; 100 \text{ mm}\}$$

ARMĂTURILE TRANSVERSALE

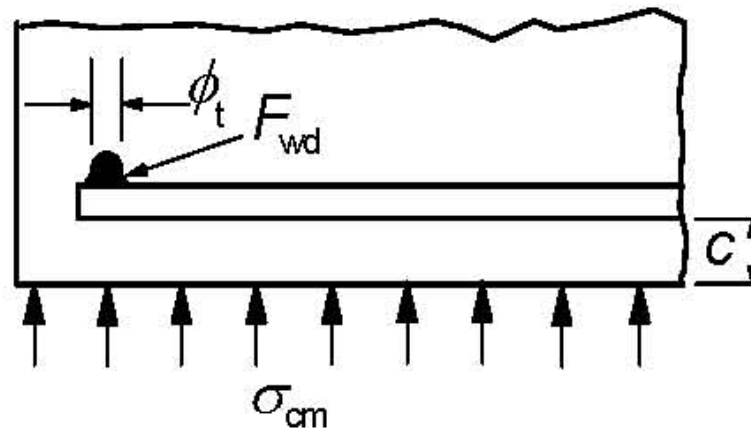
- Ancorarea armăturilor pt. forțe tăietoare se realizează în mod normal prin ciocuri de capăt sau armături transversale sudate, prevăzându-se o bară în interiorul ciocului.
- Ancorarea se face astfel:



Notă: Pt. c) și d) acoperirea să nu fie mai mică decât 3ϕ sau 50 mm

ANCORAREA PRIN BARE SUDATE

- Ancorarea suplimentară a armăturilor longitudinale și pt. forță tăietoare se poate realiza prin sudarea de bare transversale.
- Calitatea sudurilor trebuie să fie adecvată.



- Capacitatea de ancorare a unei bare transversale sudate F_{btd} ($\leq F_{wd}$ – rezistența de calcul la tăiere a sudurii) depinde de: dimensiunile barei transversale, lungime și diametru; efortul din beton din zona respectivă.

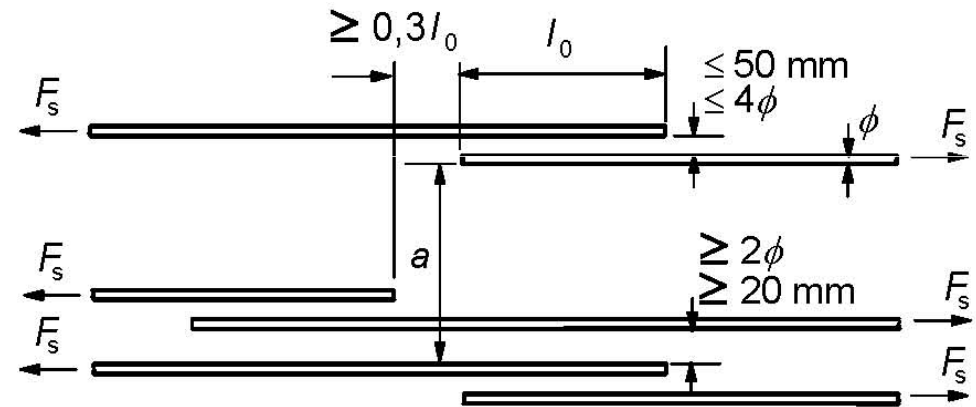
- Forțele se transmit de la o bară de armătură la alta prin:
 - suprapunerea barelor, cu sau fără ciocuri de capăt;
 - sudarea barelor;
 - dispozitive mecanice (piese de cuplare).

ÎNNĂDIREA PRIN SUPRAPUNERE

- Detaliile de suprapunere a barelor iau în considerare:
 - transmiterea forțelor între bare este asigurată;
 - exfolierea betonului din zonă nu se produce;
 - nu apar fisuri largi;
 - suprapunerea nu se va face în zone puternic solicitate la eforturi mari (ex. articulațiile plastice);
 - în orice secțiune, suprapunerile se fac, în mod obișnuit, simetric.

ÎNNĂDIREA PRIN SUPRAPUNERE

- Trebuie să ia în considerare:
 - distanța liberă dintre barele suprapuse;
 - distanța longitudinală dintre 2 suprapuneri adiacente;
 - pt. suprapuneri adiacente, distanța liberă dintre barele adiacente.



- Procentul admis de bare întinse înnădite poate fi de 100 % dacă toate barele sunt dispuse pe un singur rând. Dacă barele sunt dispuse pe mai multe rânduri procentul se reduce la 50 %.
- Toate barele comprimate și barele de montaj sau repartiție pot fi înnădite într-o singură secțiune.

LUNGIMEA DE SUPRAPUNERE DE CALCUL, l_0 (EC 2):

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

unde: α_1 , α_2 , α_3 , α_5 și $l_{b,rqd}$ au aceeași semnificație ca în cazul lungimii de ancorare;
 α_6 – funcție de procentul de bare suprapuse într-o secțiune de suprapunere;

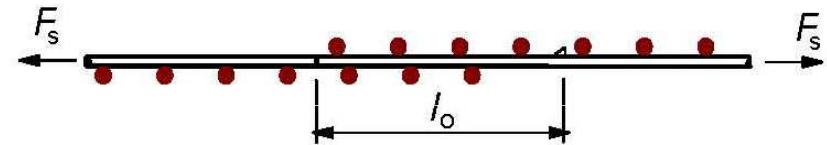
$l_{0,min}$ – lungimea minimă de suprapunere:

$$l_{0,min} > \max \{0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} ; 15 \cdot \phi ; 200 \text{ mm}\}$$

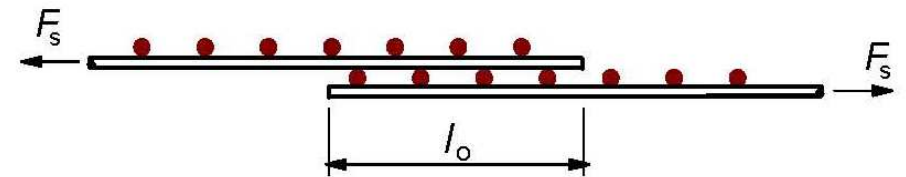
SUPRAPUNEREA PLASELOR SUDATE REALIZATE DIN BARE PROFILATE

Înădirea se poate face prin suprapunerea panourilor în același plan sau în planuri diferite.

- În cazul solicitării la oboseală, se adoptă suprapunerea în același plan.
- Pt. suprapunerea în același plan se aplică condițiile anterioare pt. armăturile longitudinale.
- Suprapunerea în planuri diferite a armăturilor longitudinale se face în zonele cu tensiuni în bare $<$ maxim.
- Procentul de armături longitudinale care pot fi înădite într-o secțiune trebuie să respecte:
 - pt. suprapunere în același plan, val. anterioare date pt. arm. long.;
 - pt. suprapunere în planuri diferite, condițiile depind de secțiunea transversală specifică a plaselor de armătură.



a) suprapunerea panourilor în același plan (secț. long.)



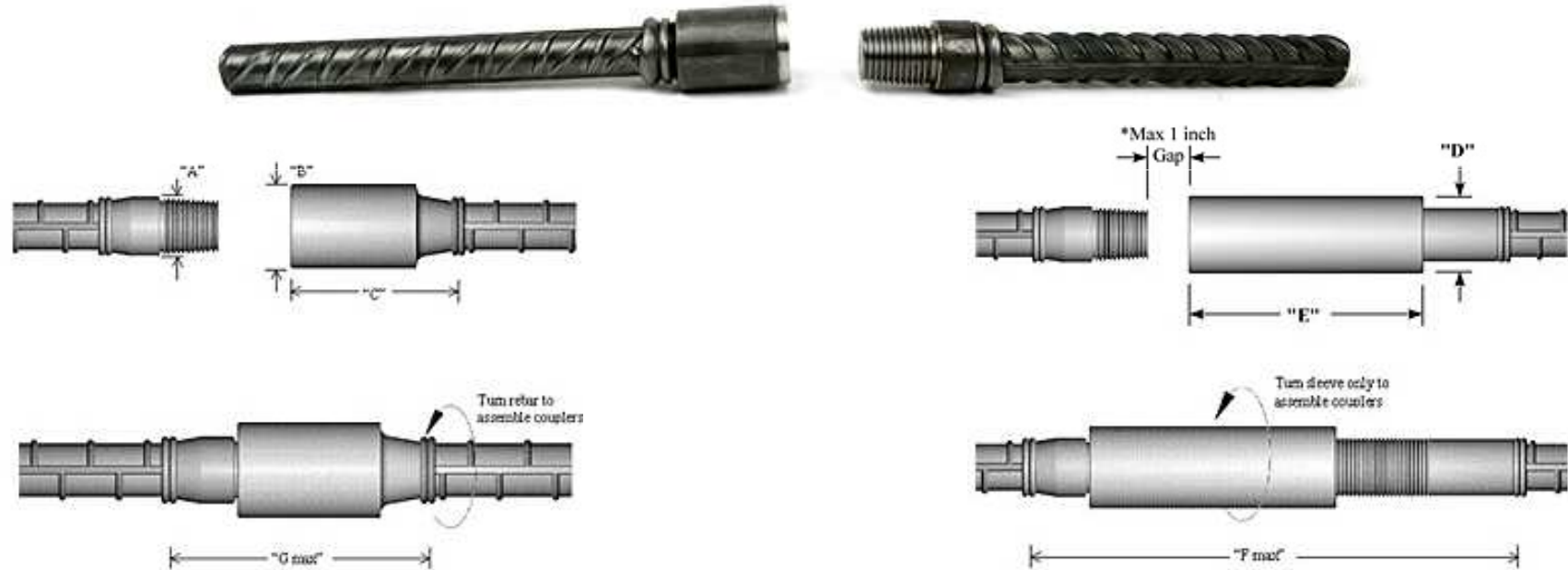
b) suprapunerea panourilor în planuri diferite (secț. long.)

ÎNNĂDIRE PRIN SUPRAPUNERE

- Reguli suplimentare sunt prevăzute pt.:
 - armăturile transversale din zona de suprapunere pt. bare întinse sau comprimate;
 - armăturile de montaj și repartiție;
 - bare de diametru mare;
 - pachete de bare.

PIESE DE CUPLARE

- *Headed Reinforcement Corp. USA*



piese standard

piese cu lungime
ajustabilă

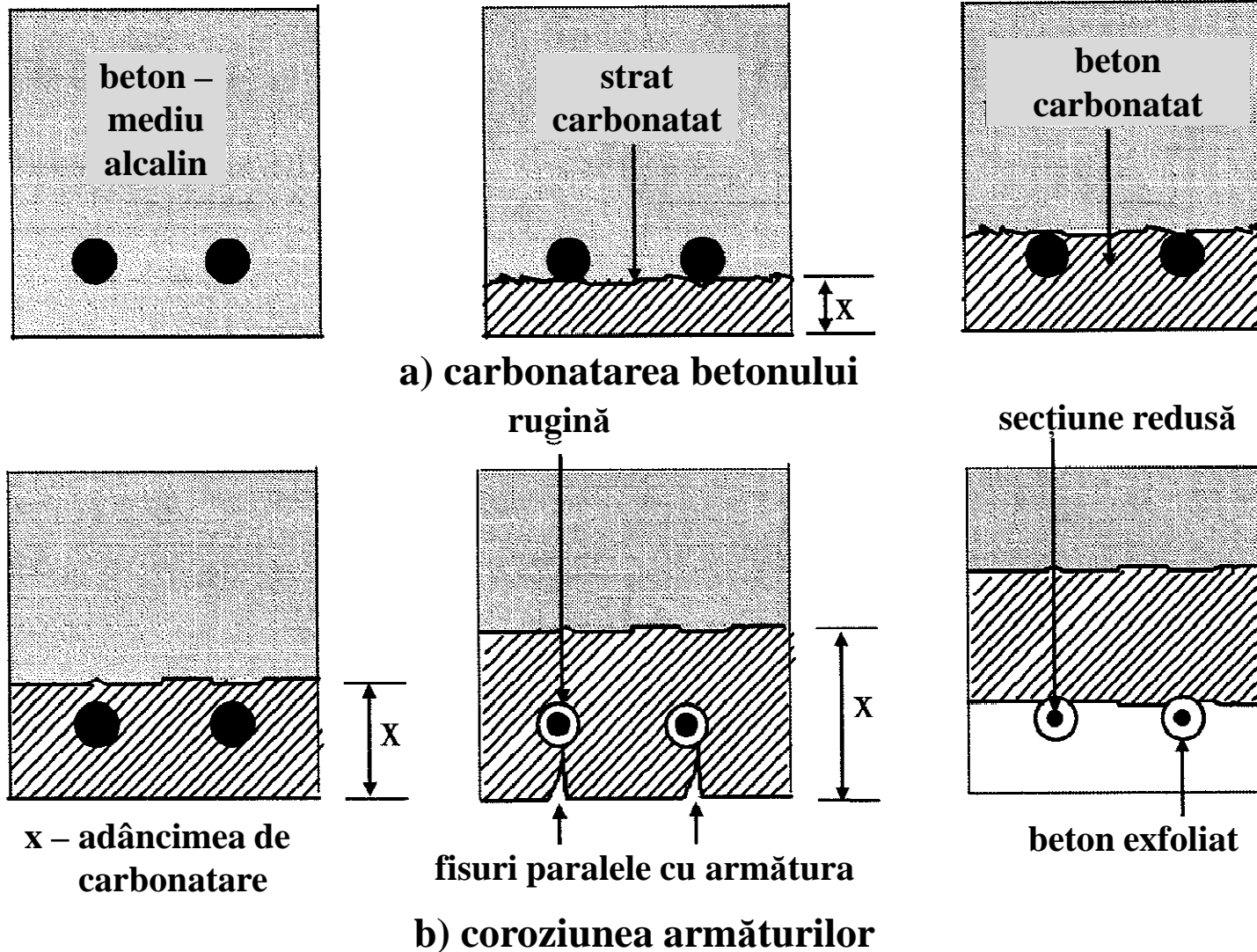


PROBLEME DE DURABILITATE

- Durabilitatea structurală este definită de perioada de timp pe care construcția își păstrează caracteristicile normale, proiectate de funcționare.
- Durata de viață proiectată (uzuală): 50 ani
- Măsurile de asigurare a duratei de viață și durabilității sunt funcție de condițiile de mediu exterior.

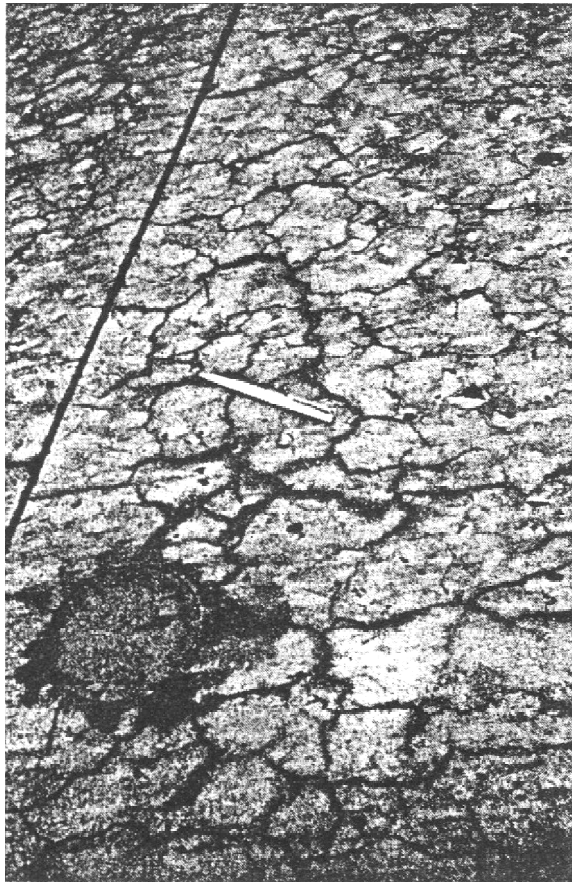
- Degradările de durabilitate sunt datorită:
 - coroziunea betonului
 - coroziunea oțelului din armături datorită:
 - carbonatării betonului
 - penetrarea clorurilor (săruri)

COROZIUNEA ARMĂTURILOR – MECANISM



DEGRADAREA STRUCTURALĂ DATORITĂ AAR – REAȚIA ALCALI-AGREGATE

Alcalii din ciment reacționează cu unele agregate necorespunzătoare



DEGRADAREA STRUCTURALĂ DATORITĂ AAR – REAȚIA ALCALI-AGREGATE



CLASE DE EXPUNERE (X) ALE BETONULUI LA CONDIȚIILE DE MEDIU ÎNCOJURĂTOR

0 – **Zero** risk = niciun risc

C – **Carbonation** = coroziune indusă de carbonatare

D – **Deceiving salt** = coroziune datorată clorurilor

S – **Seawater** = coroziune datorată clorurilor în apa de mare

F – **Frost** = atac datorat fenomenului de îngheț

A – **Aggressive environment (chemical)** = agresivitate
chimică

M – **Mechanical abrasion** = uzura mecanică a betonului

ACOPERIREA CU BETON

- Acoperirea nominală: $C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}}$
deviation (10 mm)
- Acoperirea minimă: $C_{\text{min}} = \max \{c_{\text{min,b}} ; C_{\text{min,dur}} ; 10 \text{ mm}\}$
bond durability
- Condiții de ancoraj: $C_{\text{min,b}} \geq \phi$
- Condiții de durabilitate:

$C_{\text{min,dur}}$ poate fi corectată astfel:

$$C_{\text{min,dur}} + \Delta C_{\text{dur,\gamma}} - \Delta C_{\text{dur,st}} - \Delta C_{\text{dur,add}}$$

$\Delta C_{\text{dur,\gamma}}$: marjă de siguranță

$\Delta C_{\text{dur,st}}$: reducere pt. oțel inoxidabil

$\Delta C_{\text{dur,add}}$: reducere pt. folosirea protecției
suplimentare

ASPECTE GENERALE

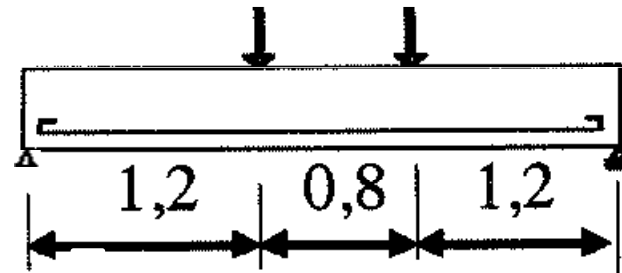
- Betonul și armătura prezintă caracteristici mecanice diferite.
- Comportarea elementelor din beton armat solícitate la încărcări prezintă aspecte specifice.
- La creșterea încărcărilor au loc:
 - modificări cantitative (eforturi)
 - modificări calitative (comportarea materialelor)
- Comportarea betonului armat este funcție de eforturile exterioare: $\pm N$, M , V , T
- La solícitarea de forță axială + moment încovoietor:
 - axa neutră (A.N.) este poziționată în interiorul secțiunii transversale (S.T.) dacă $M \uparrow$ și $N \downarrow$
 - axa neutră (A.N.) este poziționată la exteriorul secțiunii transversale (S.T.) dacă $N \uparrow$ și $M \downarrow$

ASPECTE GENERALE

- Comportarea betonului armat depinde de cantitatea de armătură:
 - coeficientul de armare: $\rho = A_s / A_c$
 - procentul de armare: $\rho [\%] = 100 \cdot \rho$
- Elementele din beton armat pot fi din:
 - beton simplu (cu armătură de siguranță)
 - beton slab armat (elemente masive)
 - **betonul armat (obișnuit): procente mici și mijlocii de armare**
 $\rho \approx 0.1 \dots 4.0 \%$
 - beton supra-armat (situație evitată în proiectare)
- Stadii de lucru ale betonului armat la încărcări statice de scurtă durată:
 - stadiu I – beton nefisurat, comportare elastică
 - stadiu II – beton întins fisurat, comportare elasto-plastică
 - stadiu III – rupere, comportare plastică

STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

- Studiile se fac pe grinzi din beton armat sollicitate la încovoiere – test de încovoiere în 4 puncte

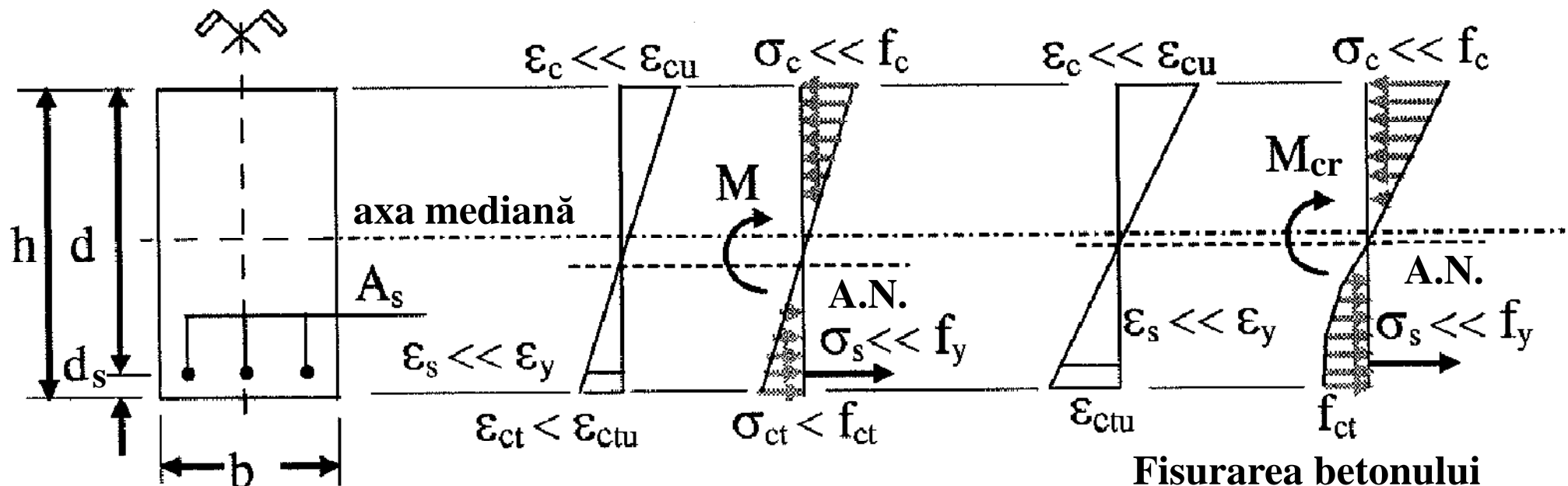


- Partea centrală a grinzii este sollicitată la încovoiere pură
- Armătura este realizată din oțel ductil, cu limită de curgere aparentă
- ***Procent mediu de armare***
- Rezistența grinzii este dată de capacitatea portantă la încovoiere din procesul treptat de rupere a materialelor componente:
 - fisurarea betonului întins la f_{ct}
 - curgerea armăturii la f_y
 - zdrobirea betonului comprimat la f_c

STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

STADIUL I

Comportare elastică, beton nefisurat la încărcări reduse



STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

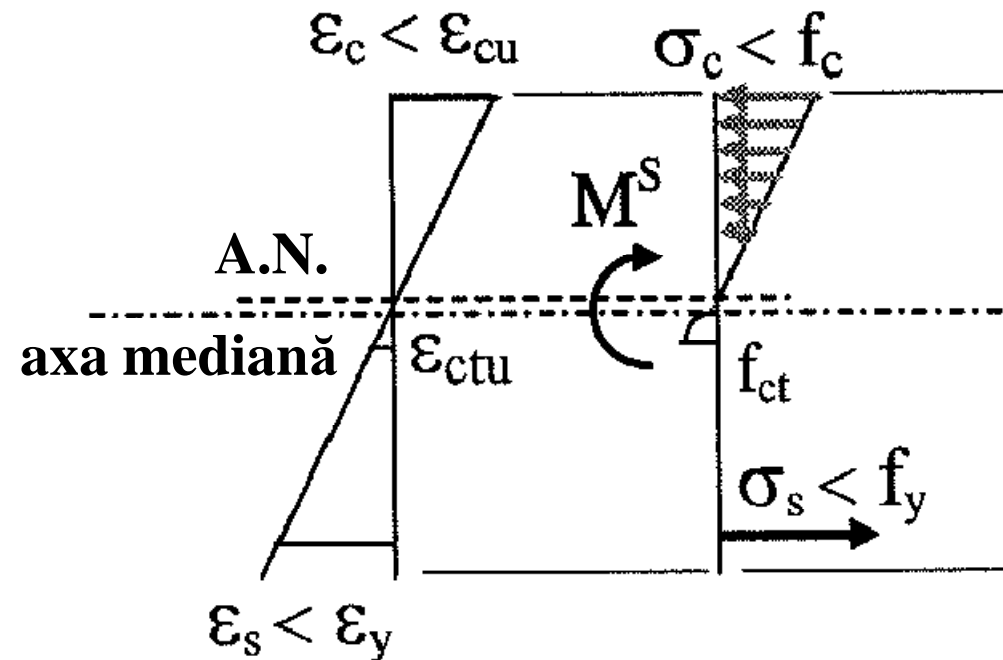
STADIUL I

- Întreaga secțiune transversală din beton armat lucrează
- Deformații elastice \Rightarrow diagramă liniară de tensiuni
- Axa neutră se află sub axa mediană datorită A_s
- Rigiditatea la încovoiere este maximă ($E I$)_I
- Încărcarea crește \Rightarrow eforturile σ_c , σ_{ct} cresc până la valoarea $\sigma_{ct} = f_{ct}$ la care $\varepsilon_{ct} = \varepsilon_{ctu}$ și diagrama de tensiuni de întindere este aproape dreptunghiulară datorită deformațiilor plastice
- Comportarea plastică a betonului întins = I-a modificare calitativă la încovoiere
- Încărcarea crește \Rightarrow - fisurarea betonului întins (fisură verticală)
 - numai armătura întinsă lucrează în zona întinsă a secțiunii transversale;
 - rigiditatea se diminuează;
 - momentul încovoietor exterior $M = M_{cr}$ mom. încovoietor de fisurare
- Fisurarea betonului întins = a II-a modificare calitativă la încovoiere
- Efortul din armătura întinsă
la limita STADIULUI I : $\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s = \varepsilon_{tu} \cdot E_s = \frac{0.1 \dots 0.15}{1000} 200000 = 20 \dots 30 \text{ N/mm}^2$

STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

STADIUL II – STADIUL DE SERVICIU

- Betonul întins fisurat
- Încărcarea crește \Rightarrow fisuri verticale multiple
- Datorită aderenței și conlucrării cu armătura, deschiderea fisurilor este admisibilă



STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. (M ↑ ; N ↓)

STADIUL II – STADIUL DE SERVICIU

- Elementele din beton armat lucrează cu zona întinsă fisurată
- Secțiunea de proiectare este alcătuită de betonul comprimat și armătura întinsă
- După fisurare eforturile cresc brusc până la valori situate sub limitele elastice:
 $\sigma_c < f_0 \approx 0.5 f_c$; $\sigma_s \approx (0.7...0.8) f_y \Rightarrow$ diagramă de compresiune liniară
- Poziția axei neutre se deplasează în sus
- Rigiditatea la încovoiere se reduce $(EI)_{II}$ datorită fisurării și reducerii secțiunii de beton aflate în lucru

STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

STADIUL III – STADIUL DE RUPERE

- Modul de rupere depinde de cantitatea de armătură

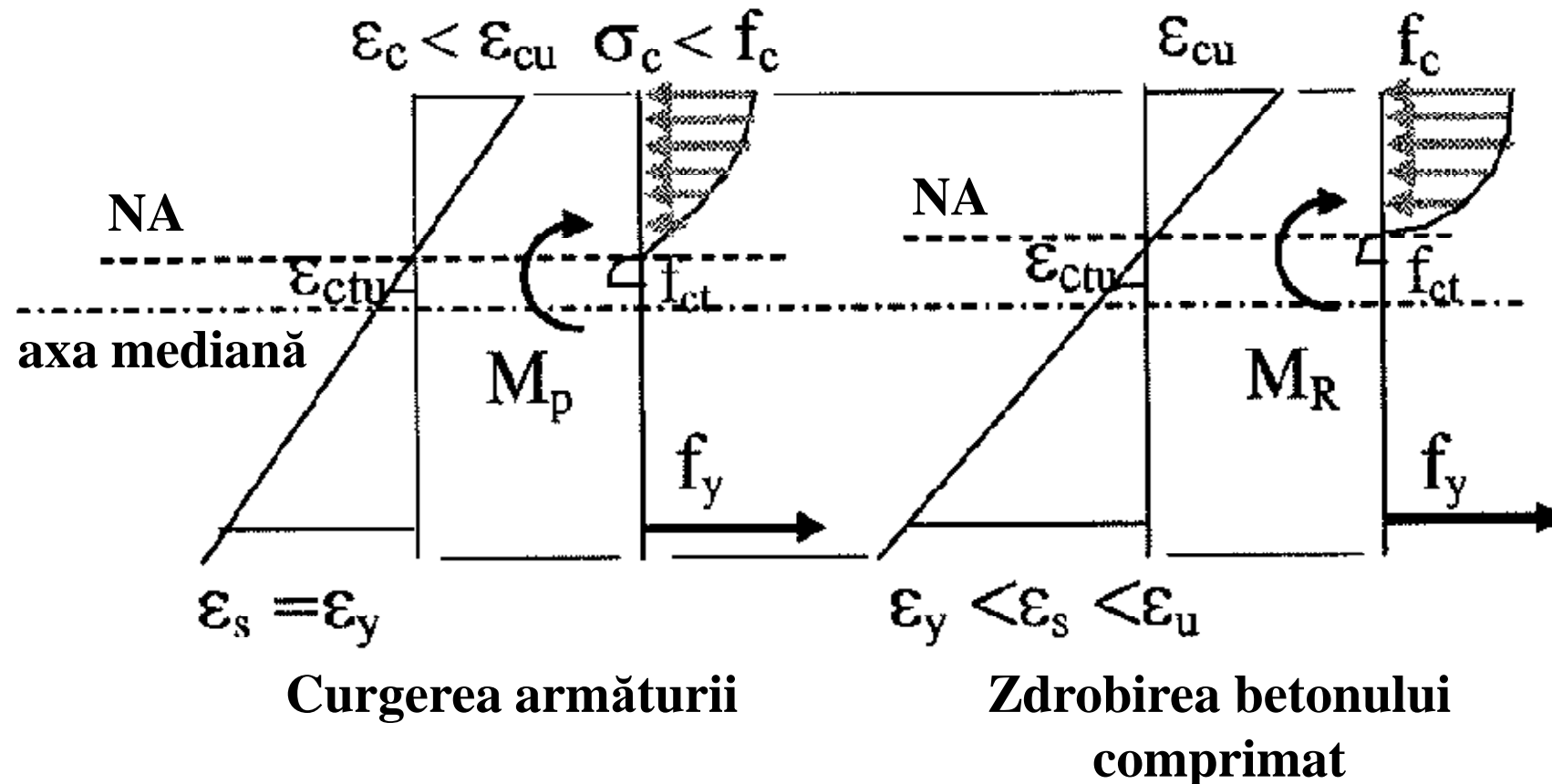
ÎNCEPUTUL RUPERII

- Încărcarea cerște \Rightarrow deformațiile și eforturile cresc.
- Pentru **procente mici și medii de armare** armătura întinsă atinge limita de curgere $\sigma_s = f_y$
- Alungire mare a armăturii la întindere \Rightarrow fisuri cu deschidere mare
- Datorită curgerii armăturii la încărcare constantă \Rightarrow
 - rotirea continuă a S.T. \Rightarrow articulație plastică
 - deformațiile betonului comprimat cresc până la limita plastică
 - eforturile din betonul comprimat cresc peste rezistența de microfisurare $f_0 < \sigma_c < f_c$
 - diagramă ne-liniară a eforturilor de compresiune din beton

STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

STADIUL III – STADIUL DE RUPERE

Modul de rupere depinde cantitatea de armătură



STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

STADIUL III – STADIUL DE RUPERE

ÎNCEPUTUL RUPERII

- Curgerea armăturii = a III-a modificare calitativă la încovoiere
- ARTICULAȚIA PLASTICĂ în S.T. cu armătura ajunsă la curgere
- În articulația plastică \rightarrow moment încovoietor plastic M_p constant
$$M_p = A_s \cdot f_y \cdot z \approx 0.9 \cdot A_s \cdot f_y \cdot d$$
- Datorită rotației continue în articulația plastică \Rightarrow
 - eforturile de compresiune din beton cresc
 - poziția axei neutre se deplasează în sus
 - rigiditatea la încovoiere are cea mai mică valoare \Rightarrow grinda prezintă o săgeată foarte mare

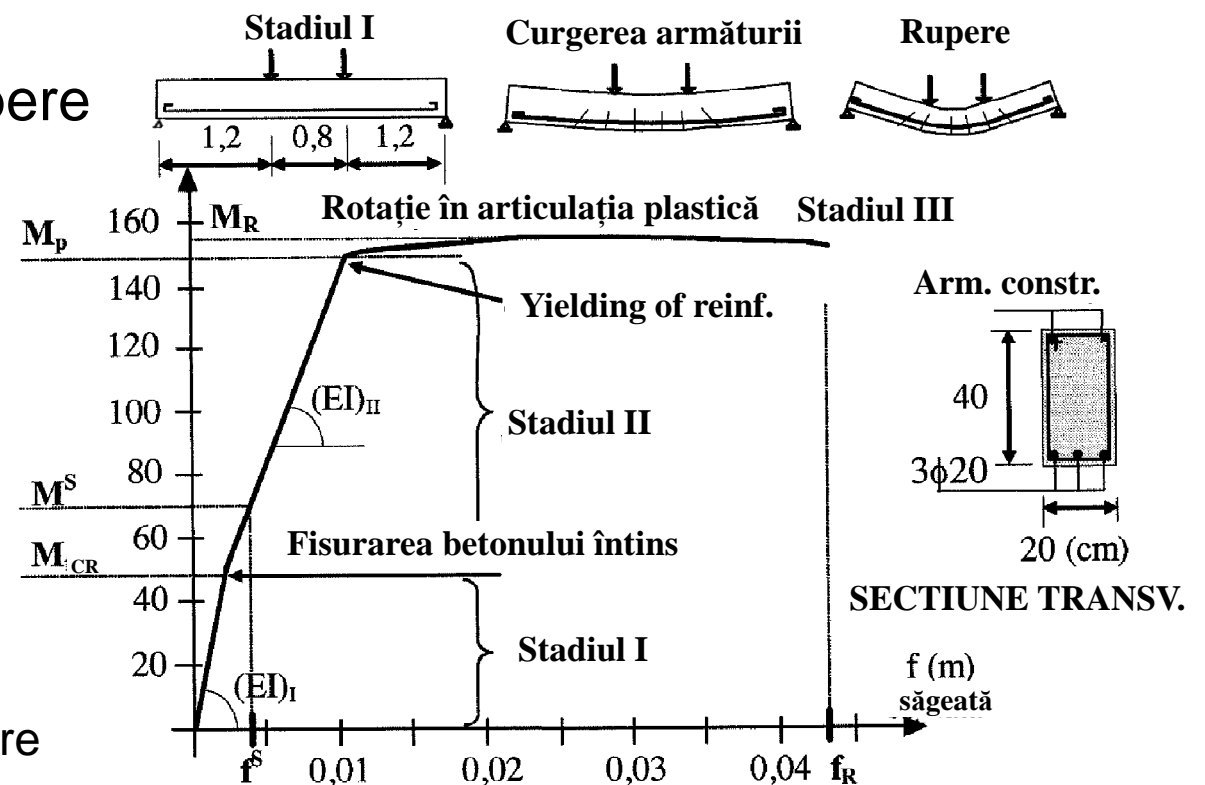
STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

STADIUL III – STADIUL DE RUPERE

RUPEREA

- În final, zdrobirea betonului la compresiune se produce la încărcarea maximă
- Momentul încovoietor de rupere sau momentul încovoietor de rezistență M_R
- Rupere ductilă datorată deformațiilor mari

Element din beton armat –
Variația rigidității la încovoiere



STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

STADIUL III – STADIUL DE RUPERE

RUPEREA EXPERIMENTALĂ: test la încovoiere în 4 puncte



STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

RUPEREA ÎN CAZUL ALTOR PROCENTE DE ARMARE

- Beton simplu cu armătură de siguranță:
Efortul din armătura întinsă atinge rapid limita de curgere și limita de rupere la întindere a oțelului f_t
Armătura compensează ruperea fragilă (bruscă) a betonului simplu.
- Beton slab armat:
Ruperea începe prin curgerea armăturii întinse
Este posibil ca $f_y < \sigma_s < f_t$
Ruperea se produce fie prin zdrobirea betonului comprimat sau prin deformarea excesivă a armăturilor
- Beton supra-armat:
Ruperea se produce prin zdrobirea betonului comprimat fără curgerea armăturii $\sigma_s < f_y$
Ruperea fragilă la deformații mici – **trebuie evitată prin proiectare**
Utilizarea armăturilor este ne-economică, nefiind la capacitatea maximă

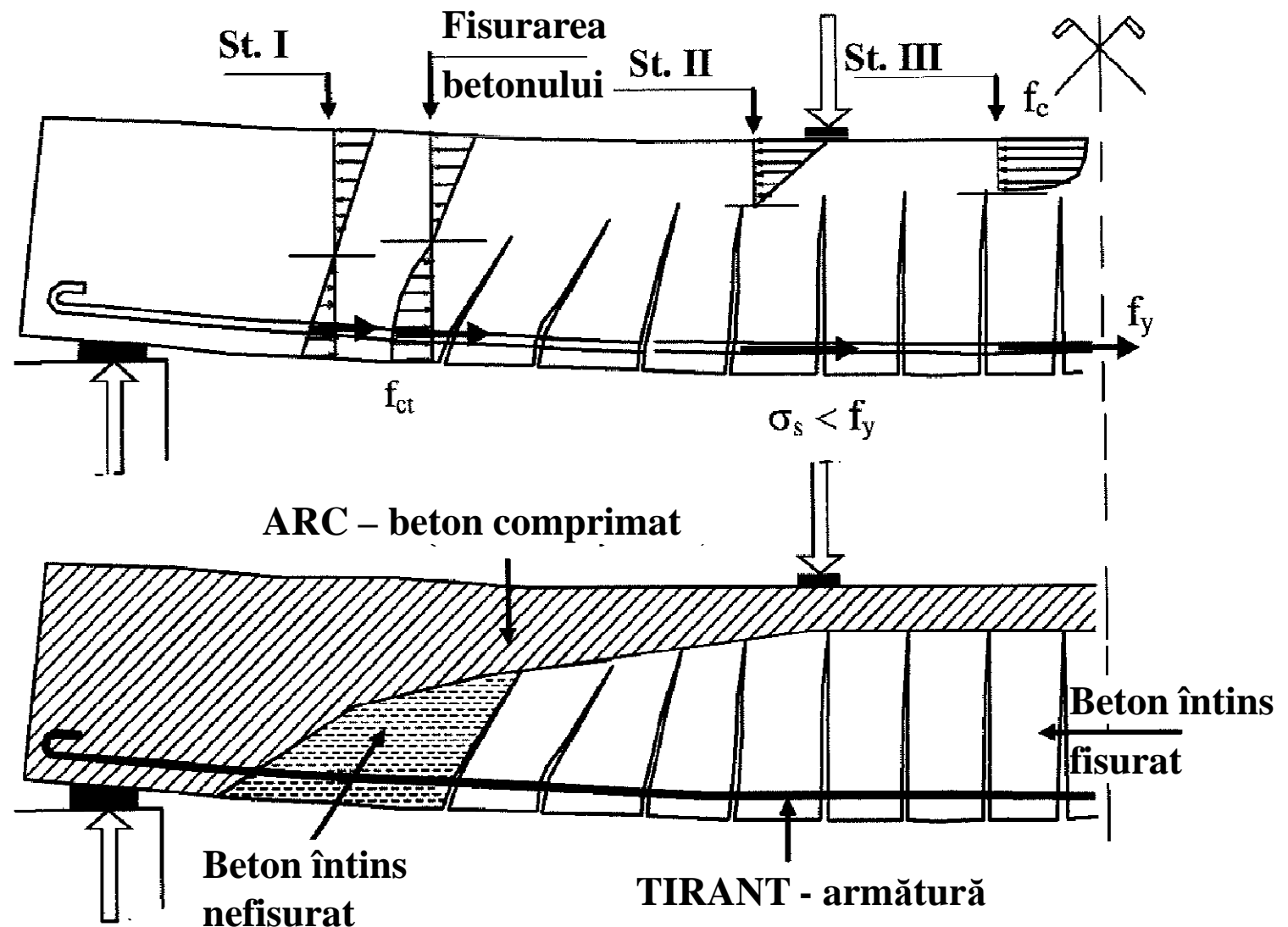
STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. (M ↑ ; N ↓)

CONCLUZII

- Două evenimente importante:
 - fisurarea betonului întins
 - curgerea armăturii ⇒ articulație plastică
- Rigiditatea se reduce odată cu creșterea încărcării
- ***Ruperea elementelor din beton armat cu procente uzuale de armătură (mici și medii) începe prin curgerea armăturii întinse și se încheie prin zdrobirea betonului comprimat – STADIUL III***
Rupere ductilă datorită deformațiilor mari care preced ruperea

STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. ÎN INTERIORUL S.T. ($M \uparrow$; $N \downarrow$)

CONCLUZII



STADIILE DE LUCRU ALE ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT CU A.N. LA EXTERIORUL S.T.

ELEMENTE SOLICITATE LA ÎNTINDERE : $M \downarrow$; $N \uparrow$

- Forța de întindere este amplasată în dreptul armăturii
- Starea de tensiune este similară cu zona întinsă din încovoiere
- Aceleași stadii de lucru ca în cazul A.N. în S.T.
- Ruperea se produce prin curgerea armăturii deoarece întreaga secțiune de beton este fisurată

ELEMENTE SOLICITATE LA COMPRESIUNE: $M \downarrow$; $N \uparrow$

- Stadiul I: $\sigma_c < f_0$
betonul și armătura: comportare elastică
- Stadiul II: $\sigma_c = f_0$
- Stadiul III: zdrobirea betonului la compresiune (fragilă)
armătura atinge limita de curgere înainte sau în același timp cu zdrobirea betonului