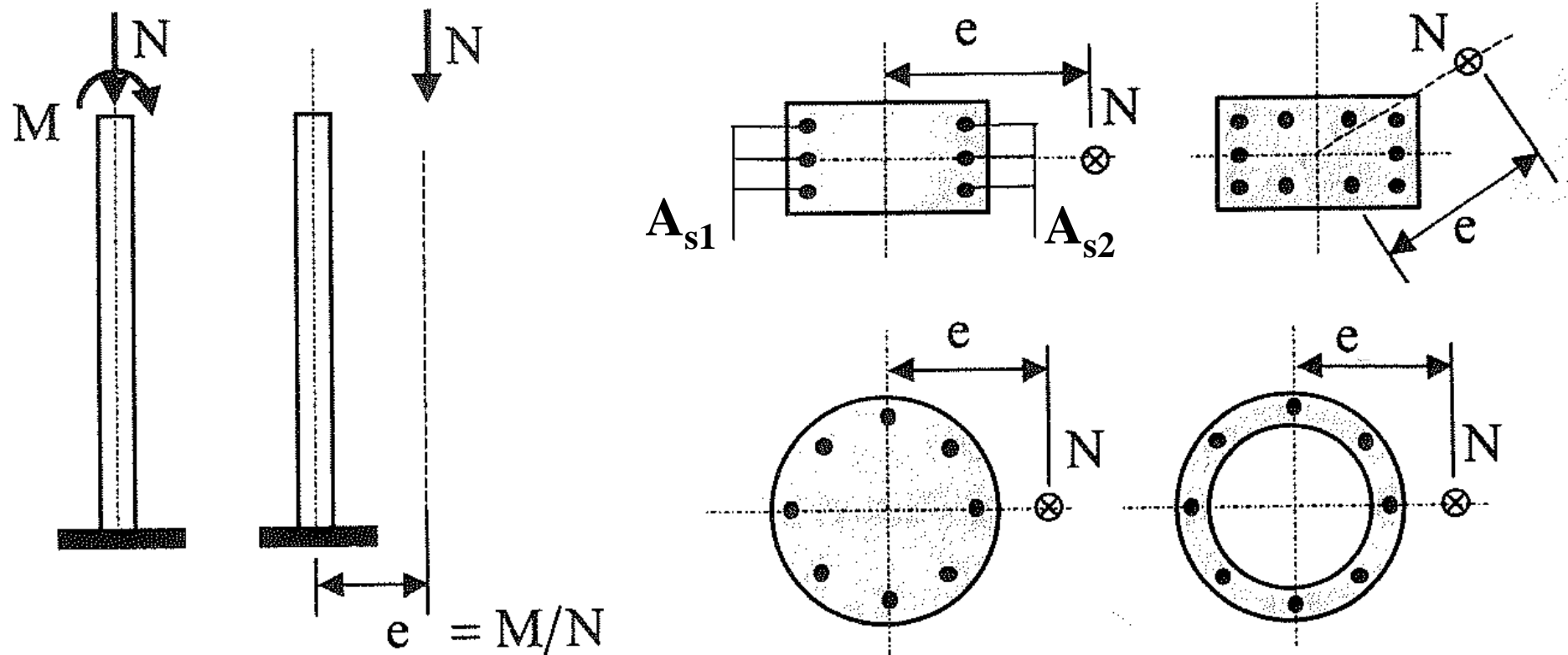
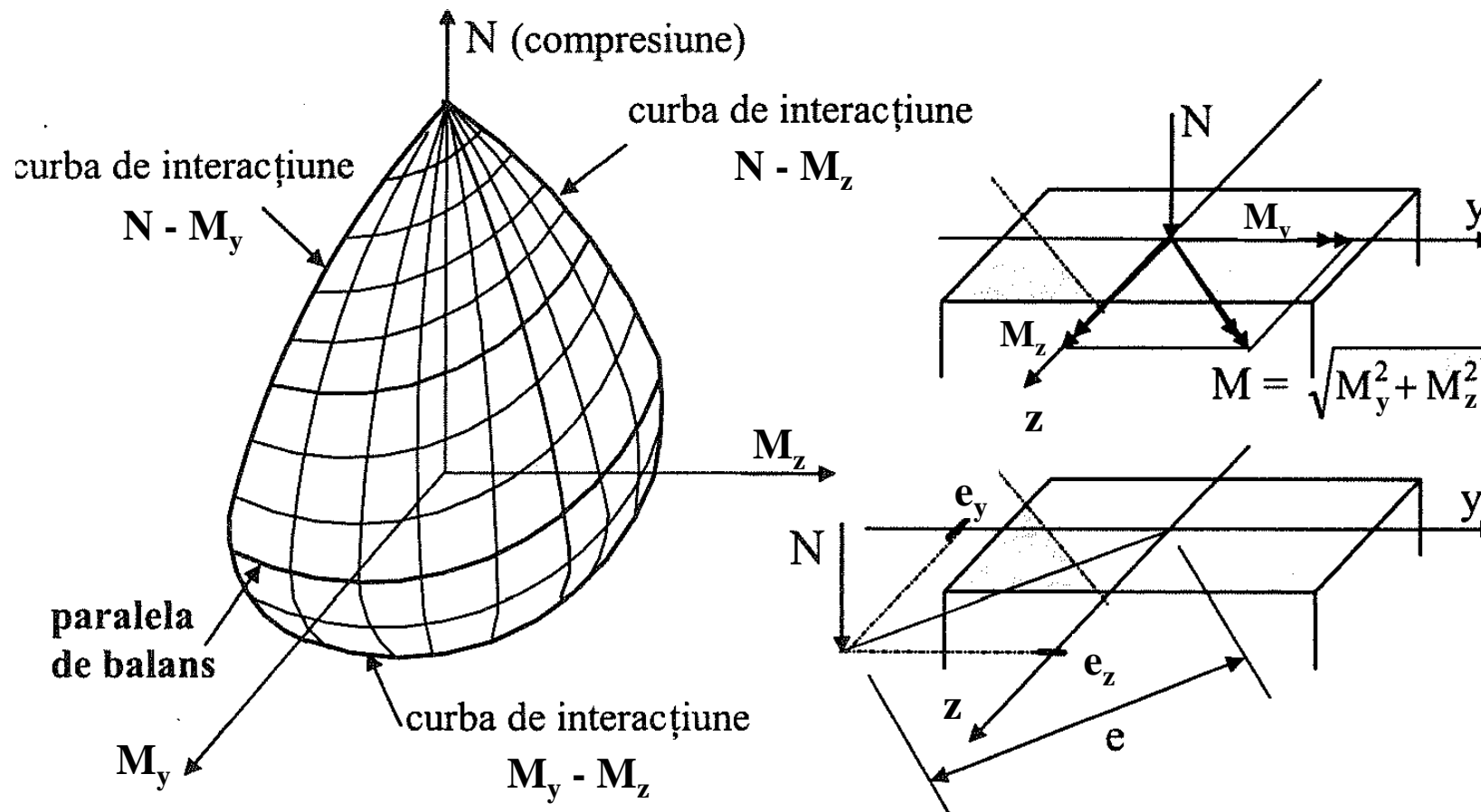


- STÂLPI:  $h \leq 4 \cdot b$  ;  $H \geq 3 \cdot h$  ;  $(b ; h) =$  dimensiunile ST;  
 $H =$  înălțimea.
- Stâlpii se calculează la forță axială de compresiune + moment încovoietor (N-M) sau compresiune excentrică.

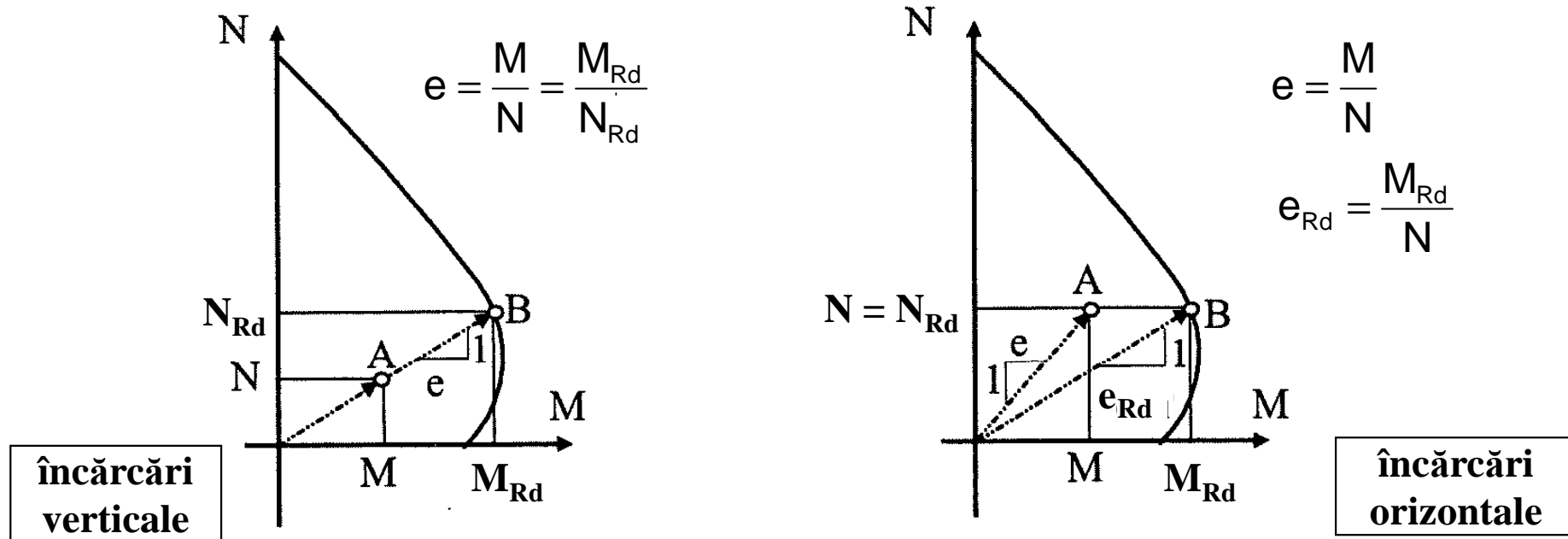


**STAREA DE EFORTURI:** în general este  $( N ; M_y ; M_z )$  .

- Sistemul de ecuații de echilibru  $( \Sigma N = 0 ; \Sigma M_y = 0 ; \Sigma M_z = 0 )$ , prin reducerea valorii "x", poziția axei neutre  $\Rightarrow$  relația dintre eforturi  $\Leftrightarrow$  suprafața de interacțiune:



- Cazuri particulare:
  - compresiune excentrică după o direcție:
    - $N \neq 0 ; M_y \neq 0 ; M_z = 0 \Rightarrow$  curba de interacțiune  $N - M_y$
    - $N \neq 0 ; M_y = 0 ; M_z \neq 0 \Rightarrow$  curba de interacțiune  $N - M_z$
  - încovoiere oblică:
    - $N = 0 ; M_y \neq 0 ; M_z \neq 0 \Rightarrow$  curba de interacțiune  $M_y - M_z$
- Efectul încărcărilor exterioare  $\Rightarrow$  un punct de coordonate  $( N ; M_y ; M_z )$ . Dacă punctul  $( N ; M_y ; M_z )$  este situat la interiorul sau la limită pe suprafața de interacțiune  $\Rightarrow$  ST existentă satisface condiția de rezistență.
- Verificarea unei ST din beton armat la compresiune excentrică după o direcție se poate face prin procedeele următoarele:



- verificarea la încărcări vert.: eforturile ( $M ; N$ ) ( $\Leftrightarrow$  punctul A) cresc odată cu încărcările, până la curba de interacțiune – punctul B ;

Relația de verificare:  $N \leq N_{Rd}$  la  $e = \text{const.}$

- verificarea la încărcări horizontale: la  $N = \text{const.}$ ,  $M$  crește odată cu încărcările din punctul A până la curba de interacțiune – punctul B ;

Relația de verificare:  $M \leq M_{Rd}$  la  $N = \text{const.}$

- Datorită existenței forței axiale  $\Rightarrow$  excentricitatea din imperfecțiuni geometrice devine importantă.
- Efectele defavorabile ale posibilelor deviații geometrice trebuie luate în considerare în analiza elementelor structurale și structurilor.
- **IMPERFEȚIUNI GEOMETRICE =**
  - = abateri din geometria structurii (datorate execuției);
  - = deviații din poziția încărcărilor (obișnuit, încărcări excentrice).
- Abaterile în dimensiunile secțiunii transversale sunt luate în considerare prin coeficienții de siguranță ai materialelor. Aceste abateri nu se iau în considerare în analiza structurală.
- Deviațiile din poziția încărcărilor: pt. secțiunile transversale armate simetric solicitate la forțe de compresiune, se ia în considerare o excentricitate minimă:  $e_0 = h / 30 \geq 20 \text{ mm}$ ,  $h =$  înălțimea ST a stâlpului.
- Imperfecțiunile trebuie luate în considerare SLU în situațiile permanente (persistente) și accidentale de proiectare, iar SLS nu trebuie.

- Valorile numerice ale abaterilor din execuție pt. elementele solicitate la compresiune axială și structurile cu încărcări verticale, în principal clădiri, sunt:

### **IMPERFEȚIUNILE POT FI REPREZENTATE PRINTR-O INCLINARE (EUROCODE 2):**

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

unde:

$$\theta_0 = 1 / 200 \text{ – valoare de bază;}$$

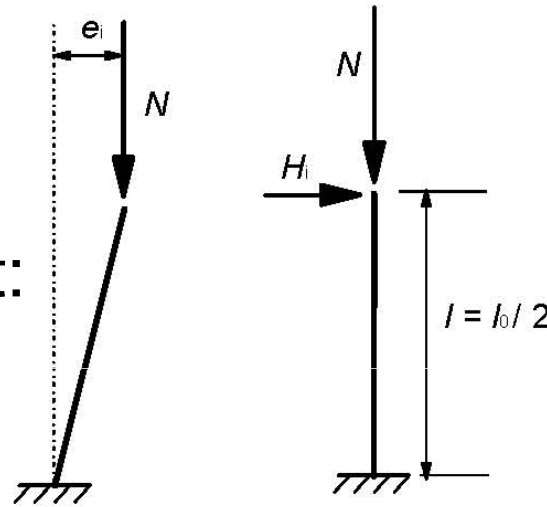
$$\alpha_h = 2 / \sqrt{l} \text{ – factor de reducere pt. lungime sau înălțime; } 2/3 \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_m = \sqrt{0.5 \cdot (1 + 1/m)} \text{ – factor de reducere pt. numărul de elemente;}$$

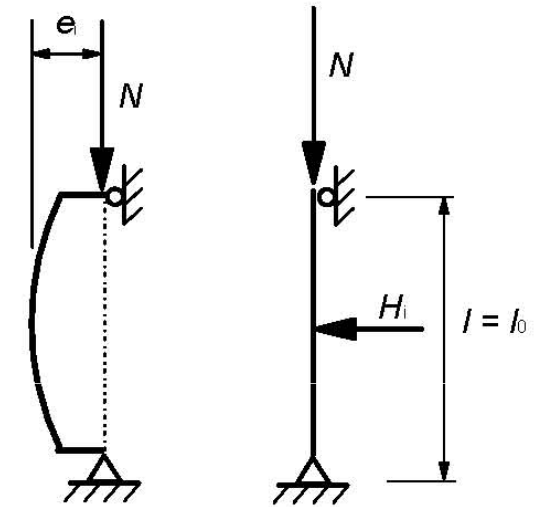
$l$  – lungimea sau înălțimea [m];

$m$  – numărul de elemente verticale care contribuie la efectul total.

- Definierea lui  $l$  și  $m$  depinde de efectul considerat:



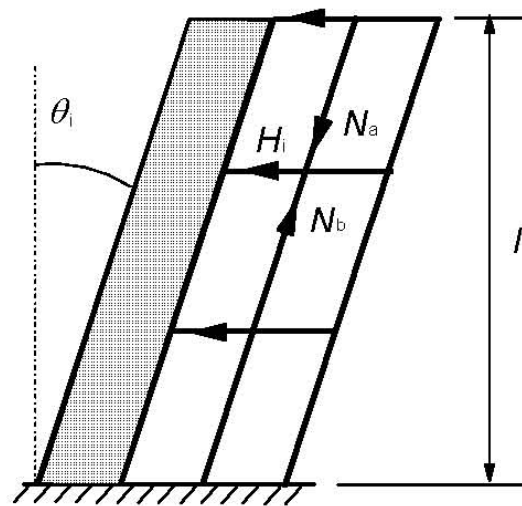
a1) Necontravântuite



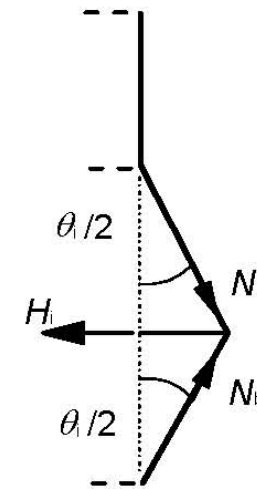
a2) Contravântuite

a) Elemente izolate cu încărcări excentrice sau horizontale

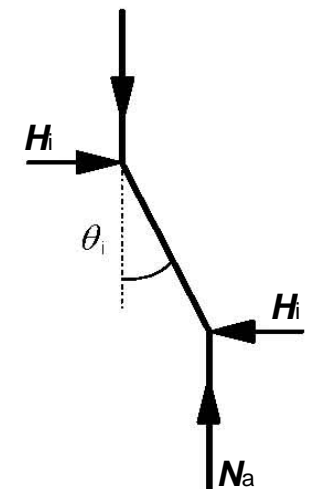
Exemple ale efectului imperfecțiunilor geometrice



b) Sistem contravântuit



c1) Diafragmă - planșeu



c2) Diafr. - acoperiș

- Definirea valorilor  $l$  și  $m$  depinde de efectul considerat (trei cazuri principale):

a) Efect asupra elementelor izolate:

$l$  = lungimea efectivă a elementului;

$m = 1$  .

b) Efect asupra sistemelor contravântuite:

$l$  = înălțimea clădirii;

$m$  = numărul de elemente verticale a sistemului de contravântuire care preiau forța orizontală.

c) Efect al diafragmelor de planșeu sau acoperiș care distribuie încărcări orizontale:

$l$  = înălțimea de nivel;

$m$  = numărul de elemente verticale de nivel care preiau forța orizontală totală de nivel.



- La elementele izolate, efectul imperfecțiunilor poate fi luat în considerare prin 2 modalități:

a) ca o excentricitate:  $e_i = \theta_i \cdot l_0 / 2$   
unde  $l_0$  = lungimea efectivă sau lungimea de flambaj.

La pereți sau stâlpi izolați din structuri contravântuite,  $e_i = l_0 / 400$  poate fi considerată simplificat, corespunzător la  $\alpha_h = 1$ .

b) ca o forță transversală,  $H_i$ , în poziția din care rezultă momentul maxim:

- pt. elem. necontravântuite:  $H_i = \theta_i \cdot N$
  - pt. elem. contravântuite:  $H_i = 2 \cdot \theta_i \cdot N$
- unde  $N$  = forța axială

- La structuri, efectul înclinației  $\theta_i$  poate fi reprezentată prin forțe transversale, care vor fi incluse în analiza statică împreună cu celelalte acțiuni:

b) Efectul la structuri contravântuite:

$$H_i = \theta_i \cdot ( N_b - N_a )$$

c1) Efectul la diafragma – planșeu:

$$H_i = \theta_i \cdot ( N_b + N_a ) / 2$$

c2) Efectul la diafragma – acoperiș:

$$H_i = \theta_i \cdot N_a$$

unde  $N_a$  și  $N_b$  sunt forțele longitudinale care contribuie la  $H_i$ .

- Simplificat, la pereți și stâlpi izolați din structuri contrav., o excentricitate  $e_i = l_0 / 400$  poate fi utilizată pt. a acoperi imperfecțiunile din deviațiile normale din execuție.

## DEFINIȚII:

- *Încovoiere oblică*: încovoiere simultană după cele 2 axe principale.
- *Sisteme sau elemente de contravântuire*: elemente structurale sau subsisteme care se consideră că participă la asigurarea stabilității generale orizontale a structurii.
- *Flambaj*: cedarea datorită instabilității elementului sau structurii sub efectul compresiunii centrice și fără forțe transversale.  
*Flambajul pur* nu există datorită imperfecțiunilor și forțelor transversale, dar o forță nominală de flambaj poate fi folosită ca parametru în unele metode pentru analiza efectelor de ordinul II.
- *Forța de flambaj*: forța care produce flambajul; pt. elementele izolate elastice este dată de relația lui Euler.

## DEFINIȚII:

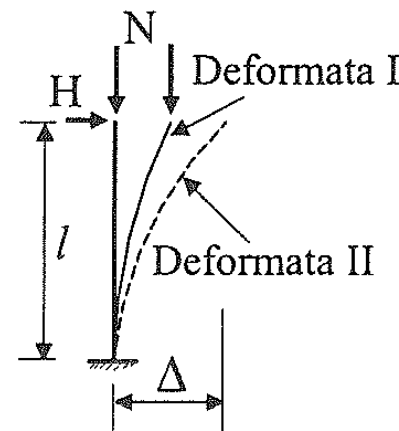
- *Lungimea efectivă sau lungimea de flambaj*: lungimea folosită pt. a ține cont de forma deformată a elementului.
- *Efecte de ordinul I*: eforturile determinate fără a considera deformațiile structurale, dar incluzând efectele imperfecțiunilor geometrice.
- *Efecte de ordinul II*: creșterea eforturilor datorită deformațiilor structurale.
- *Moment încovoietor nominal de ordinul II*: moment încovoietor total utilizat în unele metode de proiectare.
- *Elemente izolate*: elemente care sunt izolate, sau elemente care aparțin unei structuri dar care din rațiuni de calcul pot fi considerate ca fiind izolate.

## GENERALITĂȚI

- Problema se referă la elementele și structurile la care comportarea structurală este influențată semnificativ de efectele de ordinul II (ex. stâlpi, pereți, pile de pod, arce și plăci curbe subțiri). Efectele globale de ordinul II sunt probabil a se produce la structuri cu sisteme de contravântuire flexibile.
- În analiza statică de ordinul I efectul deformațiilor structurale nu sunt luate în considerare, dar abaterile geometrice și de poziție ale forțelor axiale sunt efecte adiționale de ordinul I bazate pe efectul imperfecțiunilor geometrice  $\Rightarrow M_{0Ed}$ .
- Efectele de ordinul II în analiza statică: eforturi adiționale datorate deformațiilor structurale:  $\Delta M$ .

- Momentul total de calcul, incluzând efectele de ord. II:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + \Delta M .$$



The three diagrams show the calculation of moments. The first diagram shows a linear moment distribution with a maximum value of  $M_{0Ed} = H \cdot l$ . The second diagram shows a constant moment distribution of  $\Delta M = N \cdot \Delta$ . The third diagram shows the total moment distribution, which is the sum of the first two, resulting in  $M_{Ed} = H \cdot l + N \cdot \Delta$ .

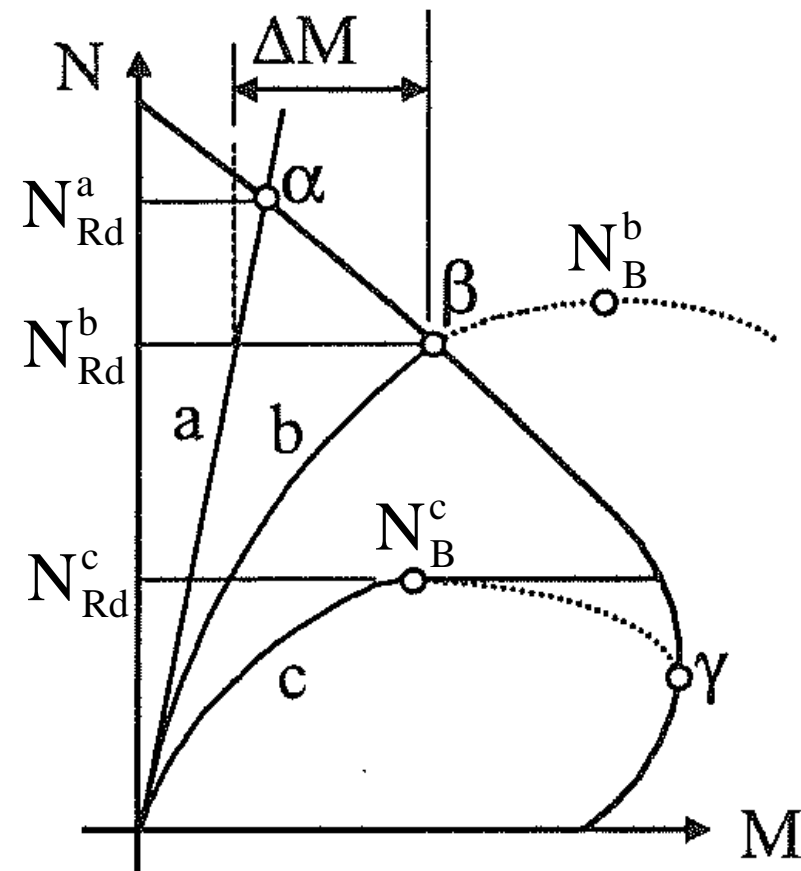
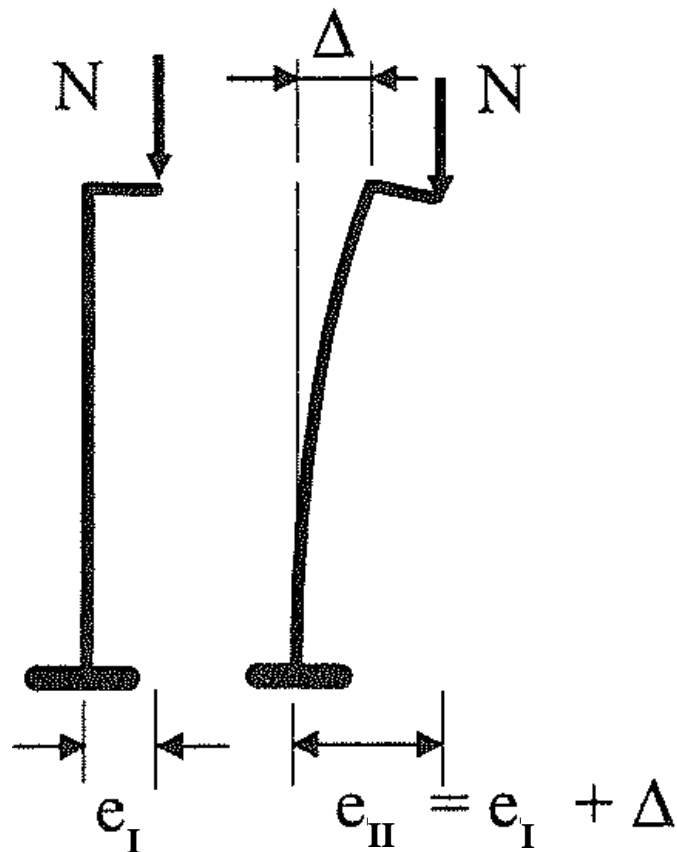
## GENERALITĂȚI

- Când efectele de ordinul II sunt luate în considerare, condițiile de echilibrul și rezistență trebuie verificate pe structura deformată. Deformațiile trebuie calculate luând în considerare efectele relevante ale fisurării, proprietățile neliniare ale materialelor și curgerea lentă.
- Dacă este relevant, analiza trebuie să includă efectul flexibilității elementelor adiacente și fundațiilor (interacțiunea sol-structură).
- Comportarea structurală trebuie analizată pe direcția potențială de producere a deformațiilor, și încovoierea oblică poate fi necesară.
- Efectele de ordinul II pot fi neglijate dacă < 10 % din efectele corespondente de ordinul I. Analize simplificată se pot folosi.
- Datorită efectelor de ordinul II importante se produce flambajul.
- Uzual, flambajul nu reprezintă o problemă specifică elem. din beton.
- Sensibilitatea structurilor la efectele de ordinul II poate fi asociată cu coeficientul de zveltețe:  
$$\lambda = l_0 / i \quad \text{unde:} \quad \begin{array}{l} l_0 = \text{lungimea efectivă (sau lungimea de flambaj);} \\ i = \text{raza de girație a ST de beton nefisurată.} \end{array}$$

# GENERALITĂȚI

## Cedarea stâlpilor luând în considerare efectele de ordinul II:

- la stâlpii izolați, încărcarea longitudinală crește de la 0 până la rupere. Variația momentului încovoietor maxim va fi:



## GENERALITĂȚI

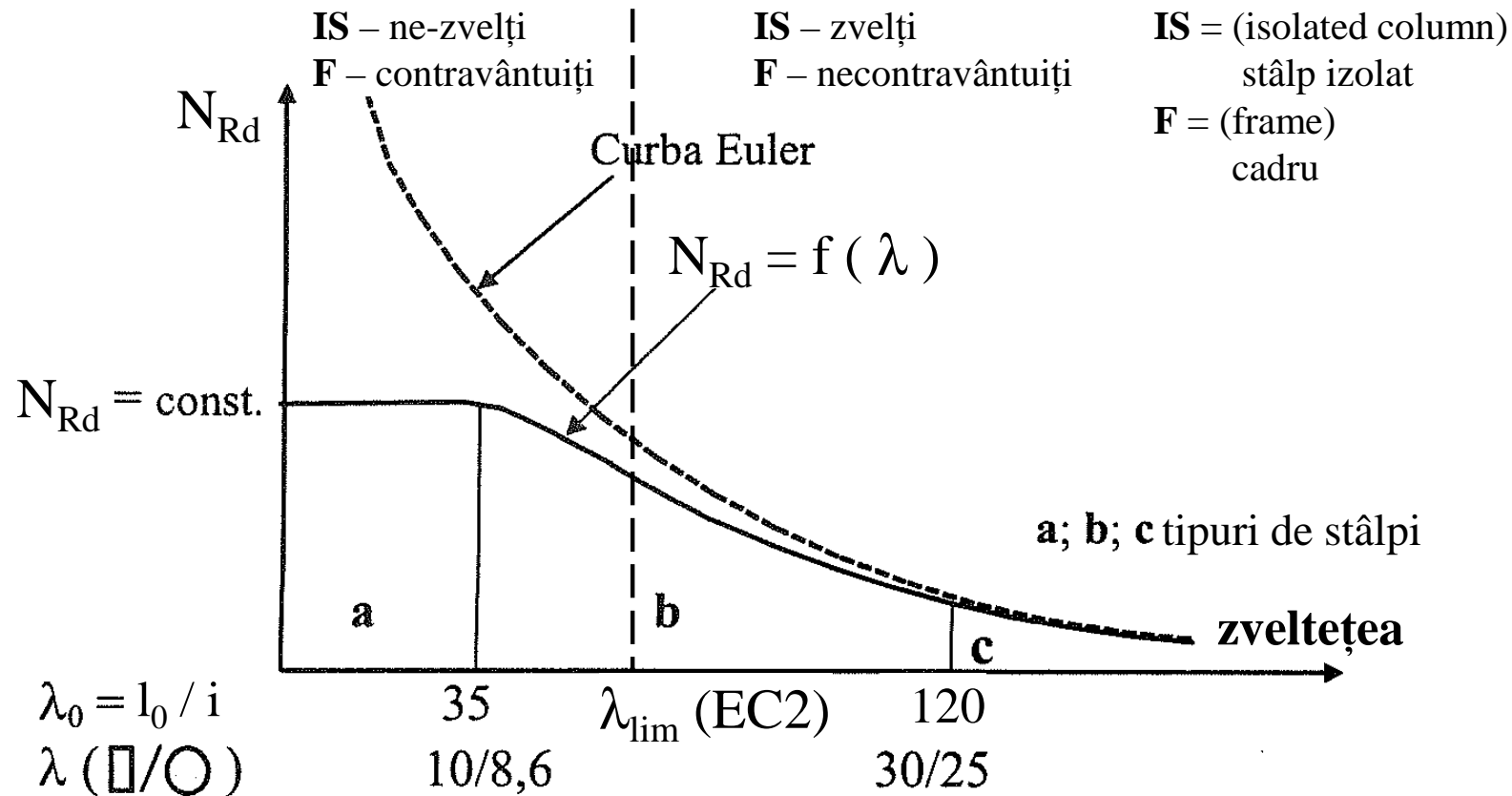
### Cedarea stâlpilor luând în considerare efectele de ordinul II :

- **cazul a** : -  $\lambda \leq 35$  ; stâlpi scurți; efectele de ordinul II sunt neglijate;
  - M este proporțional cu N – **dreapta a** ;
  - cedarea stâlp: la  $N_{Rd}^a$  ; în punctul  $\alpha$  – intersecția cu curba M-N ; cedarea prin depășirea rezistenței.
- **cazul b** : -  $35 < \lambda \leq 120$  ; stâlpi zvelți;
  - efectele de ordinul II sunt luate în considerare;
  - M crește mai rapid (datorită efectelor de ordinul II –  $\Delta M$ ) decât N – **curba b** ;
  - cedarea stâlp: la  $N_{Rd}^b$  ; în punctul  $\beta$  – intersecția cu curba M-N ; cedarea prin depășirea rezistenței.
  - $N_B^b$  este forța de flambaj.
- **cazul c** : -  $\lambda > 120$  ; stâlpi foarte zvelți (cazuri foarte rare);
  - variația M-N este – **curba c** ;
  - cedarea stâlp: datorită fenomenului de flambaj;
  - capacitatea de rezistență este dată de forța longitudinală care include fenomenul de flambaj:  $N_{Rd}^c = N_B^c$



# GENERALITĂȚI

- Forța critică de flambaj este dată de formula lui Euler :  $N_B = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_0^2}$
- Comportarea reală a stâlpilor din beton armat este diferită.



STÂLPI		
scurți	zvelți	foarte zvelți
CEDAREA STÂLPILOR		
- prin depășirea stării limite de rezistență - caz uzual pt. elementele din beton armat		- prin flambaj - nespecific elem. din b.a.

## CRITERII SIMPLIFICATE PT. EFECTELE DE ORDINUL II (EUROCODE 2)

### CRITERIUL ZVELTEȚII PT. ELEMENTE IZOLATE

- Efectele de ordinul II se neglijează dacă zveltețea:

$$\lambda = l_0 / i \leq \lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \sqrt{n}$$

unde:

$$A = 1 / ( 1 + 0.2 \cdot \phi_{ef} ) \text{ (dacă } \phi_{ef} \text{ este necunoscut, } A = 0.7);$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} \text{ (dacă } \omega \text{ este necunoscut, } B = 1.1);$$

$$C = 1.7 - r_m \text{ (dacă } r_m \text{ este necunoscut, } C = 0.7);$$

$\phi_{ef}$  = coeficientul de curgere lentă;

$\omega = ( A_s \cdot f_{yd} ) / ( A_c \cdot f_{cd} )$ ; coeficientul mecanic de armare;

$A_s$  = aria totală de armătură longitudinală;

$n = N_{Ed} / ( A_c \cdot f_{cd} )$ ; forța longitudinală relativă;

## CRITERII SIMPLIFICATE PT. EFECTELE DE ORDINUL II

### CRITERIUL ZVELTEȚII PT. ELEMENTE IZOLATE

unde:  $r_m = M_{01} / M_{02}$  ; raportul momentelor;

$M_{01}$  ,  $M_{02}$  = momentele de ordinul I la capete,  $|M_{02}| \geq |M_{01}|$

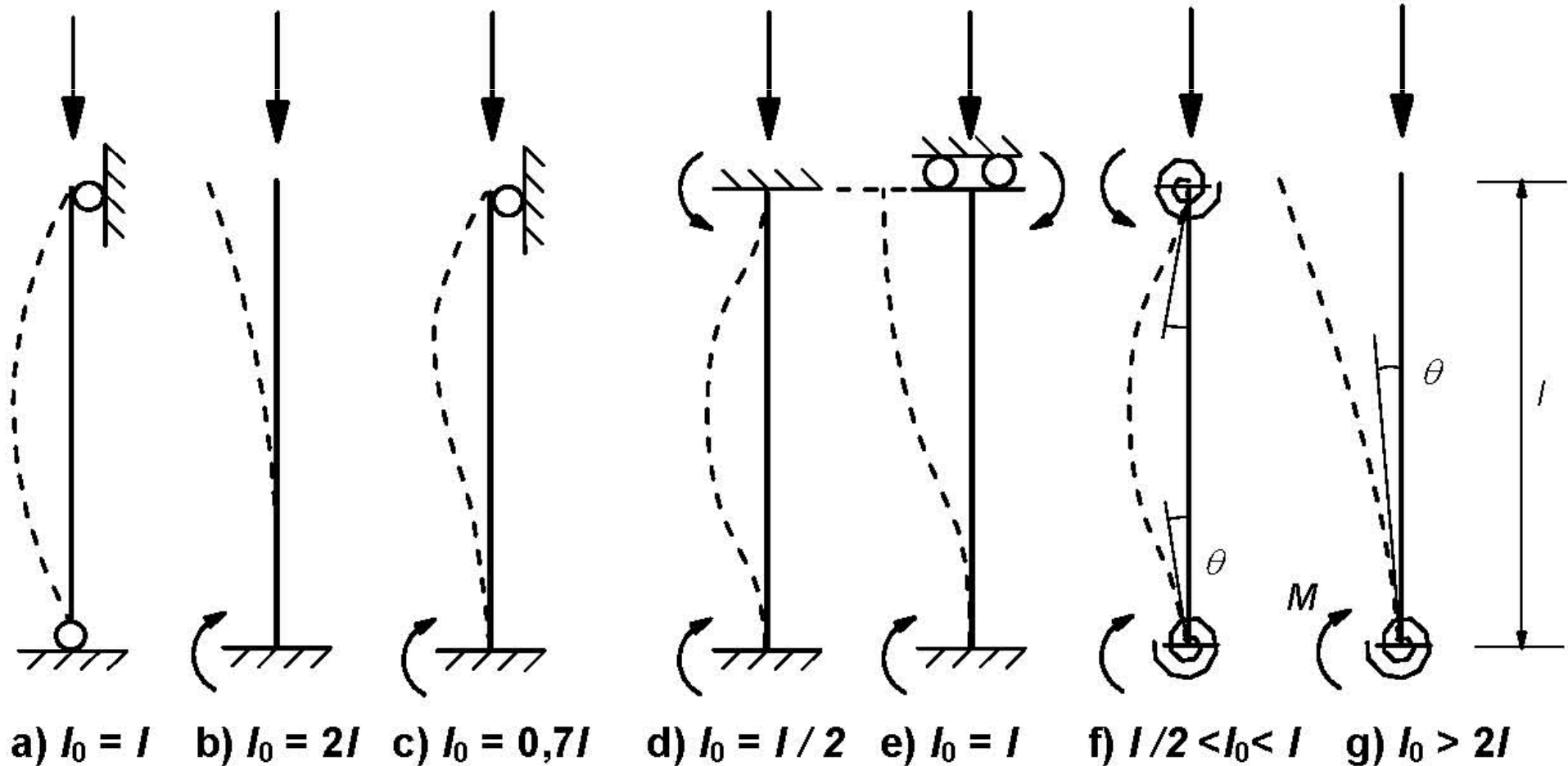
Dacă momentele la capete  $M_{01}$  și  $M_{02}$  produc întinderi pe aceeași față,  $r_m$  se va lua pozitiv (  $C \leq 1.7$  ) în caz contrar negativ (  $C > 1.7$  ).

În următoarele cazuri,  $r_m$  trebuie luat 1.0 (  $C = 0.7$  ):

- pt. elementele contravântuite la care momentele de ordinul I sunt date numai sau preponderent de imperfecțiunii sau forțe transversale;
  - pt. elementele necontravântuite, în general.
- În cazul încovoierii oblice, criteriul zvelteții poate fi verificat separat pe fiecare direcție  $\Rightarrow$  efectele de ordinul II pot fi ignorate pe două, una sau nicio direcție.

# CRITERII SIMPLIFICATE PT. EFECTELE DE ORDINUL II

## CRITERIUL ZVELTEȚII ȘI LUNGIMEA EFECTIVĂ (DE FLAMBAJ) PT. ELEMENTE IZOLATE



Exemple de moduri de flambaj și lungimea efectivă corespunzătoare.

## CRITERII SIMPLIFICATE PT. EFECTELE DE ORDINUL II

### CRITERIUL ZVELTEȚII ȘI LUNGIMEA EFECTIVĂ (DE FLAMBAJ) PT. ELEMENTE IZOLATE

- Pt. elementele comprimate din cadrele regulate, criteriul zvelteții trebuie verificat folosind o lungime efectivă  $l_0$  :

Elemente contravântuite: 
$$l_0 = 0.5 \cdot l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0.45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0.45 + k_2}\right)}$$

Elemente necontravântuite: 
$$l_0 = l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}}; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\}$$

unde:  $k_1, k_2$  = rigiditate relativă la rotire în reazemele de capăt;

$k = 0$  pt. încastrarea rigidă de capăt (teoretică);

$k_1, k_2 \geq 0.1$  deoarece încastrarea rigidă este rară în practică;

$k = \infty$  pt. articulație de capăt;

$k = (\theta / M) \cdot (E I / l)$

$\theta$  = rotirea reazemului la momentul încovoietor  $M$ ;

$E I$  = rigiditatea la încovoiere a elementului comprimat;

$l$  = înălțimea liberă dintre reazemele de capăt.

## CRITERII SIMPLIFICATE PT. EFECTELE DE ORDINUL II

### CRITERIUL ZVELTEȚII ȘI LUNGIMEA EFECTIVĂ (DE FLAMBAJ) PT. ELEMENTE IZOLATE

- $(EI/I)$  este suma pt. toate elementele adiacente comprimate (stâlpi inferiori și superiori) din nod.
- Rigiditatea elementelor de reazem (reazeme de capăt) trebuie să includă efectul fisurării, cu excepția că sunt nefisurate la SLU.
- Pt. alte cazuri, cum ar fi stâlpi cu forțe axiale și/sau ST variabilă, lungimea efectivă este dată de forța de flambaj:

$$l_0 = \pi \cdot \sqrt{EI_{repr}/N_B}$$

unde:  $E I_{repr}$  = rigiditatea la încovoiere reprezentativă;

$N_B$  = forța de flambaj, corespunzătoare rigidității  $E I_{repr}$  ;

- Efectul de reazem al pereților transversali se ia în considerare în calculul lungimii efective a pereților printr-un factor diferit  $\beta$  dat de Eurocode.

## CRITERII SIMPLIFICATE PT. EFECTELE DE ORDINUL II

### EFECTE GLOBALE DE ORDINUL II ÎN CLĂDIRI

- Efectele globale de ordinul II la clădiri se poate neglija dacă:

$$F_{V,Ed} \leq k_1 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1.6} \cdot \frac{\sum E_{cd} \cdot I_c}{L^2}$$

unde:  $F_{V,Ed}$  = forța verticală totală;

$n_s$  = numărul de nivele;

$L$  = înălțimea totală a clădirii deasupra nivelului de încastrare în fundații;

$E_{cd}$  = valoarea de calcul a modulului de elasticitate al betonului;

$I_c$  = momentul de inerție al ST nefisurate a elementelor de contravântuire;

$k_1$  = 0.31 sau  $k_2 = 0.62$  pt. elementele de contravântuire nefisurate în SLU.

## CRITERII SIMPLIFICATE PT. EFECTELE DE ORDINUL II

### EFECTE GLOBALE DE ORDINUL II ÎN CLĂDIRI

- Relația anterioară este valabilă în următoarele condiții:
  - instabilitatea la torsiune nu este importantă, structura este aproximativ simetrică;
  - deformațiile totale din tăiere sunt neglijabile (ex. sisteme contravântuite cu pereți diafragme fără goluri mari);
  - elementele de contravântuire sunt încastate rigid în fundații și rotirile sunt neglijabile;
  - rigiditatea elementelor de contravântuire este aproximativ constantă pe înălțime;
  - încărcarea totală verticală crește aproximativ constant cu fiecare nivel.



## INFLUENȚA CURGERII LENTE (EUROCODE 2)

- Efectul asupra analizei de ordinul II depinde de valoarea curgerii lente și de durata diferitelor încărcări din combinațiile considerate.
- Durata încărcărilor poate fi simplificat luată în calcul printr-un coeficient efectiv al curgerii lente:  $\phi_{ef} = \phi_{(\infty, t_0)} \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed}$   
unde:  $\phi_{(\infty, t_0)} =$  coeficientul final de curgere lentă;  
 $M_{0Eqp}$  = moment încovoietor de ord. I din combinația cvasi-perm. (SLS);  
 $M_{0Ed}$  = moment încovoietor de ord. I din combinația de calcul (ULS);
- Dacă  $M_{0Eqp} / M_{0Ed}$  variază în lungul elementului structural, raportul se poate calcula în secțiunea cu moment încovoietor maxim, sau o valoare medie reprezentativă poate fi folosită.
- Curgerea lentă se poate neglija ( $\phi_{ef} = 0$ ) dacă:  $\phi_{(\infty, t_0)} \leq 2.0$  ;  $\lambda \leq 75$  ;  
 $M_{0Ed} / N_{Ed} \geq h$  , unde  $h =$  înălțimea ST pe direcția coresp. lui  $M$ .
- Dacă coeficientul mecanic de armare  $\omega < 0.25$  poate fi prea defavorabilă neglijarea simultană a efectelor de ordinul II și a curgerii lente, chiar dacă condițiile de a fi neglijate sunt îndeplinite.

## METODE DE ANALIZĂ (EUROCODE 2)

- Metoda generală de analiză se bazează pe analiza neliniară de ordinul II;
- Metode simplificate:
  - a) Metoda bazată pe rigiditatea nominală.  
Poate fi utilizată pt. elemente izolate și pt. întreaga structură, dacă valorile rigidității nominale se pot estima corect.
  - b) Metoda bazată pe curbura nominală.  
Este în principal folosită pt. elemente izolate. Cu simplificări realiste privind distribuția curburilor  $\Rightarrow$  metoda se poate folosi și pt. structuri.
- Momentele nominale de ord. II rezultate prin metodele simplificate sunt uneori mai mari decât valorile corespunzătoare instabilității. Aceasta pt. a asigura că momentul total este compatibil cu rezistența ST.

## METODA GENERALĂ DE ANALIZĂ

- Se bazează pe analiza neliniară, incluzând neliniaritățile geometrice – efectele de ordinul II și efectul curgerii lente.
- Se folosesc diagramele de comportare neliniară ale betonului și oțelului. Analiza generală va da valoarea de calcul a încărcării ultime folosind diagramele de calcul efort-deformație prin înlocuirea:

$$\begin{aligned} f_{cm} &\rightarrow f_{cd} \\ E_{cm} &\rightarrow E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{cE} ; \gamma_{cE} = 1.2 . \end{aligned}$$

- Efectul curgerii lente poate fi considerat prin multiplicare tuturor valorilor deformațiilor din diagrama ( $\sigma - \varepsilon$ ) a betonului cu factorul ( $1 + \phi_{ef}$ ), unde  $\phi_{ef}$  = coeficientul efectiv de curgere lentă.
- În mod normal, condițiile de echilibru și compatibilitate a deformațiilor sunt satisfăcute într-un număr de secțiuni transversale. Simplificat, se consideră numai secțiunile transversale critice, și se presupune o variație relevantă a curburii între acestea (similar cu momentul de ordinul I).

## METODA BAZATĂ PE RIGIDITATEA NOMINALĂ

- Valorile nominale ale rigidității la încovoiere consideră efectul fisurării, neliniarității materialului și curgerii lente.

### RIGIDITATEA NOMINALĂ

- Rigiditatea elementelor comprimate zvelte:

$$E I = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s$$

unde:  $E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{cE}$ ;      valoarea de calcul a modulului de elasticitate a betonului;

$I_c$  = momentul de inerție a ST de beton;

$E_s$  = valoarea de calcul a modului de elasticitate a arm.;

$I_s$  = momentul de inerție a ariei de armătură față de centrul de greutate al secțiunii de beton;

$K_c$  = coeficient pt. efectele fisurării, curgerii lente, etc.;

$K_s$  = coeficient de contribuție a armăturilor.

## METODA BAZATĂ PE RIGIDITATEA NOMINALĂ

### RIGIDITATEA NOMINALĂ

Dacă  $\rho = A_s / A_c \geq 0.002$  coeficienții vor fi:

$$K_s = 1 \quad K_c = k_1 \cdot k_2 / ( 1 + \phi_{ef} )$$

cu  $k_1 = \sqrt{f_{ck} / 20} \quad k_2 = n \cdot \frac{\lambda}{170} \leq 0.20$

Dacă  $\lambda$  nu este definit:  $k_2 = n \cdot 0.30 \leq 0.20$

Simplificat (pt. predimensionare), dacă  $\rho \geq 0.01$  :

$$K_s = 0 \quad K_c = 0.3 / ( 1 + 0.5 \cdot \phi_{ef} )$$

- Rigiditatea elementelor adiacente (la structuri static nedeterminate):
  - fisurarea parțială și ecruisarea la întindere pot fi luate în considerare;
  - simplificat, se poate considera secțiunea complet fisurată și rigiditatea este rezultă cu modulul efectiv al betonului:

$$E_{cd,eff} = E_{cd} / ( 1 + \phi_{ef} )$$

## METODA BAZATĂ PE RIGIDITATEA NOMINALĂ

### FACTORUL DE MULTIPLICARE AL MOMENTULUI

- Momentul încovoietor total de calcul, incluzând momentul de ordinul II, este dat momentul încovoietor din analiza statică liniară modificat:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_B/N_{Ed}) - 1} \right]$$

unde:

$M_{0Ed}$  = momentul încovoietor de ordinul I;

$N_{Ed}$  = forța axială, valoare de calcul;

$N_B$  = forța de flambaj calculată cu rigiditatea nominală.

## METODA BAZATĂ PE RIGIDITATEA NOMINALĂ

### FACTORUL DE MULTIPLICARE AL MOMENTULUI

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_B/N_{Ed}) - 1} \right]$$

unde:

$\beta = \pi^2 / c_0$  ; coeficient de distribuție al momentelor încovoietoare:

- pt. elemente izolate:

$c_0 = 8$  pt. distribuție constantă;

$c_0 = 9.6$  pt. distribuție parabolică;

$c_0 = 12$  pt. distribuție triunghiulară simetrică;

- pt. elemente cu forțe transversale, momente de ordinul I diferite  $M_{01}$  și  $M_{02} \Leftrightarrow M_{0e} = \text{constant} \Rightarrow c_0 = 8$  .

- dacă cazul anterior nu se poate aplica  $\Rightarrow \beta = 1$  și

$$M_{Ed} = \frac{M_{0Ed}}{1 - (N_{Ed}/N_B)}$$

## METODA BAZATĂ PE CURBURA NOMINALĂ

- Metoda se poate aplica pt. elemente izolate cu forță axială constantă și lungime efectivă definită  $l_0$ .
- Pe baza lui  $l_0$  și a unei curburi maxime estimate  $\Rightarrow$  săgeata  $\Rightarrow$  momentul nominal de ordinul II.

## MOMENTE ÎNCOVOIETOARE

- Momentul încovoietor de calcul:  $M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$   
unde:  $M_{0Ed}$  = momentul încovoietor de ordinul I, incluzând efectul imperfecțiunilor;  
 $M_2$  = momentul încovoietor de ordinul II.
- Valoarea maximă a lui  $M_{Ed}$  este dată de distribuția lui  $M_{0Ed}$  și  $M_2$  și de însumarea lor.
- Momentele încovoietoare de ordinul I diferite  $M_{01}$  și  $M_{02}$  pot fi înlocuite prin:  $M_{0e} = 0.6 \cdot M_{02} + 0.4 \cdot M_{01} \geq 0.4 \cdot M_{02}$ .  
 $M_{01}$  și  $M_{02}$  cu același semn dacă produc tensiuni pe aceeași față, dacă nu semne opuse. De asemenea  $|M_{02}| \geq |M_{01}|$ .



# METODA BAZATĂ PE CURBURA NOMINALĂ

## MOMENTE ÎNCOVOIETOARE

- Momentul încovoietor nominal de ordinul II:

$$M_2 = N_{ed} \cdot e_2$$

unde:  $N_{ed}$  = valoarea de calcul a forței axiale;

$$e_2 = (1/r) \cdot l_0^2 / c ; \text{ săgeata;}$$

$$1 / r = \text{curbura;}$$

$$l_0 = \text{lungimea efectivă;}$$

$$c = \text{coeficient pt. distribuția curburii.}$$

- Pt. ST constante  $\Rightarrow c = 10 (\approx \pi^2)$ .

Dacă momentul de ordinul I = const., o valoare redusă se poate considera:  $c \geq 8$  pt.  $M = \text{const.}$

# METODA BAZATĂ PE CURBURA NOMINALĂ

## CURBURA

- Pt. elemente cu ST constantă, simetrică (inclusiv armarea) curbura este:

$$1 / r = K_r \cdot K_\phi \cdot 1 / r_0$$

unde:  $1 / r_0 = \varepsilon_{yd} / (0.45 \cdot d) ;$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s ;$$

$$d = \text{înalțimea efectivă a ST};$$

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1 ; \text{coeficient pt. forța axială};$$

$$n = N_{ed} / (A_c \cdot f_{cd}) ;$$

$$n_u = 1 + \omega ;$$

$$\omega = (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd}) ;$$

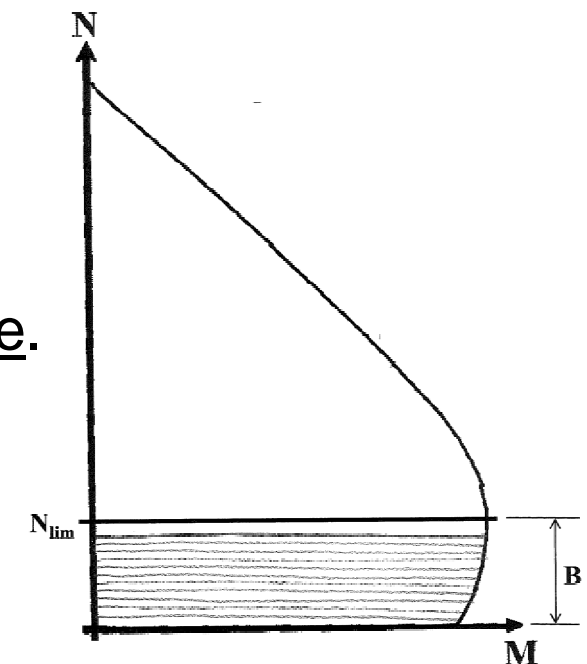
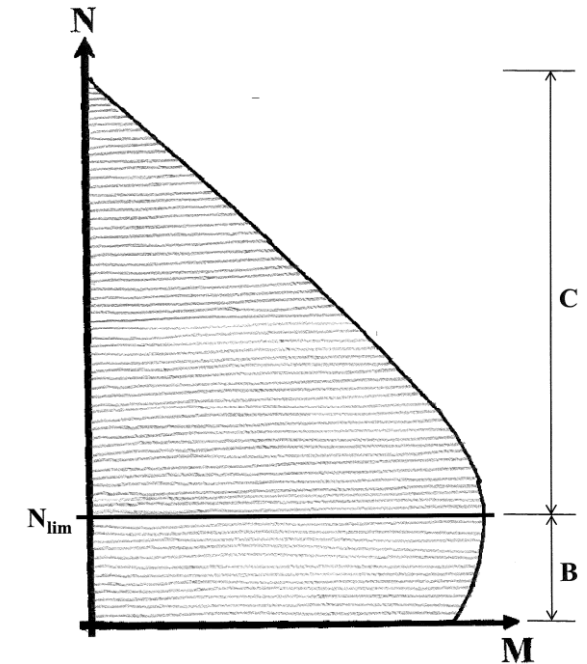
$$n_{bal} = 0.4 ; \text{valoarea lui } n \text{ pt. rezistența la moment maximă};$$

$$K_\phi = 1 + \beta \cdot \phi_{ef} ; \text{coeficient pt. curgerea lentă};$$

$$\beta = 0.35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 .$$

## GENERALITĂȚI

- Situații de proiectare pentru stâlpi:
  - situații de proiectare permanente (persistente):
    - dacă  $N_{Ed} \leq N_{lim} \Rightarrow$  PIVOT B;  
Compresiune Excentrică cu Excentricitate Mare – “CEEM”;  
Compresiune cu încovoiere preponderentă.
    - dacă  $N_{Ed} > N_{lim} \Rightarrow$  PIVOT C;  
compresiune excentrică cu excentricitate mică – “ceem”;  
Încovoiere cu compresiune preponderentă.
  - situații de proiectare seismice:
    - Comp. cu încov. preponderentă pt. ductilitate.
    - $N_{Ed} \leq 0.4 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} \Rightarrow$  PIVOT B  
pt. ductilitate clasa “H” (high).
    - $N_{Ed} \leq 0.5 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} \Rightarrow$  PIVOT B  
pt. ductilitate clasa “M” (medium).



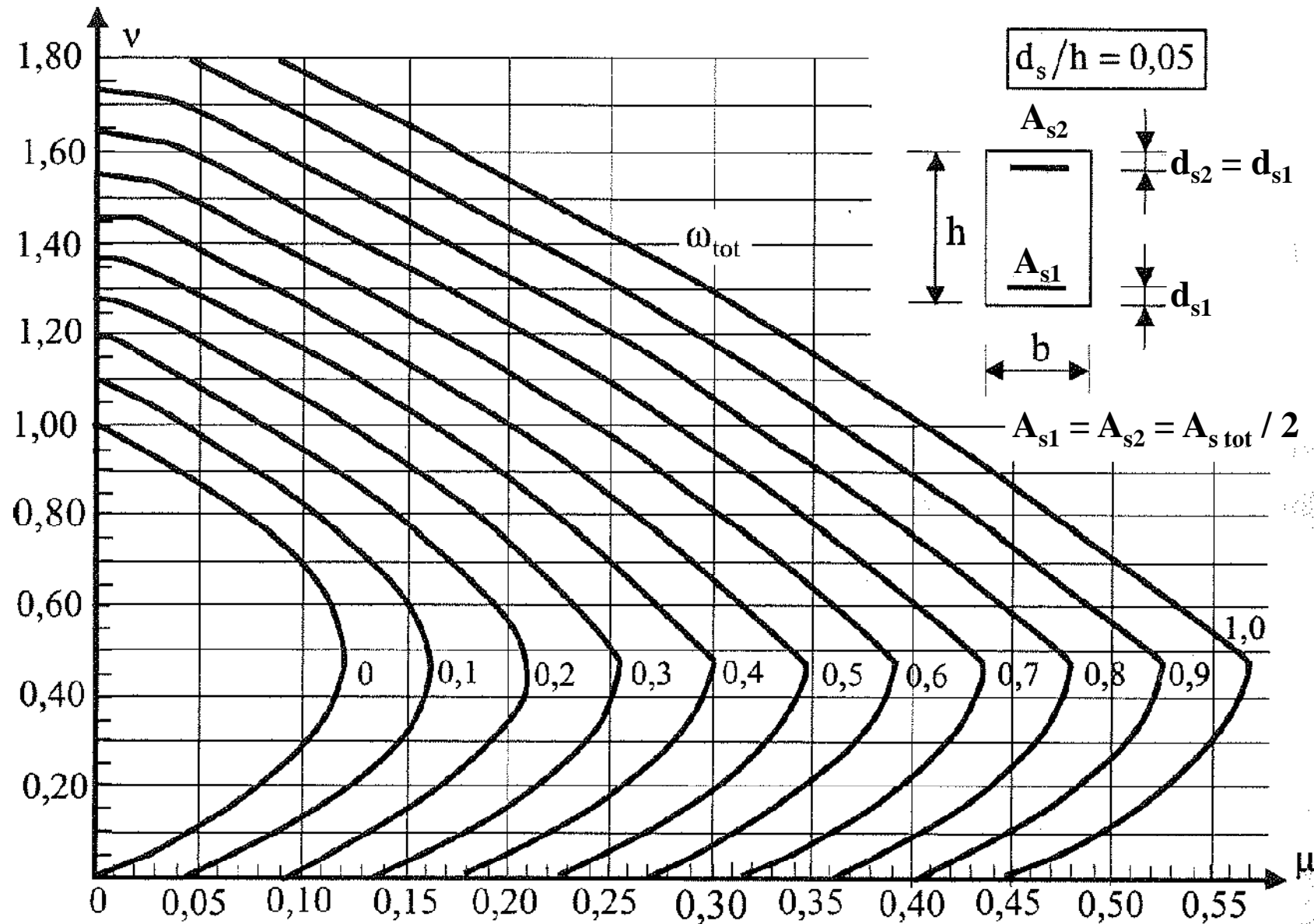
## PROIECTAREA STÂLPILOR DREPTUNGHIULARI

- Uzual, stâlpii sunt armați simetric:

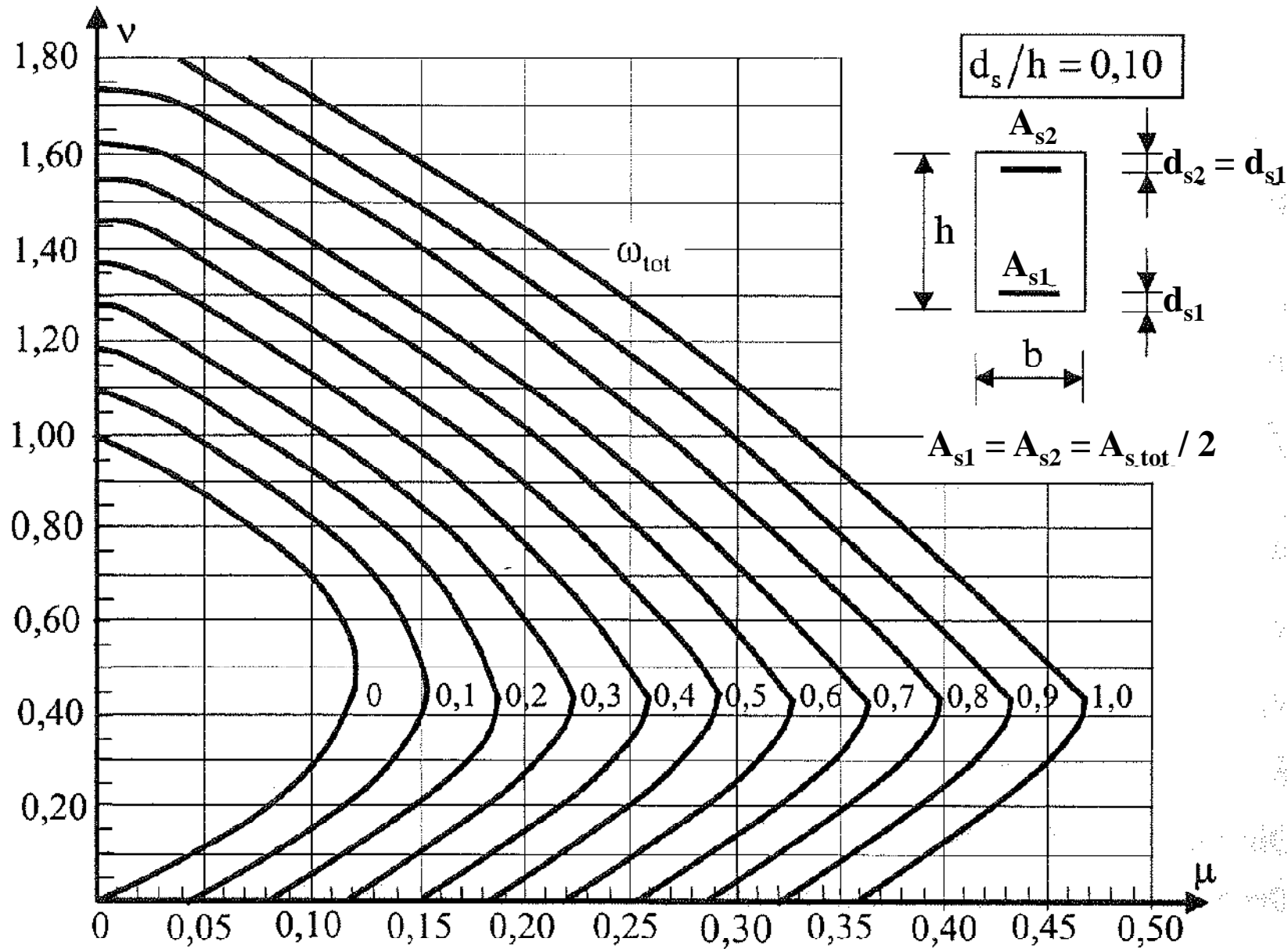
$$A_{s1} = A_{s2} = A_{s \text{ tot}} / 2 .$$

- Diagramele de proiectare se obțin din ecuațiile generale de echilibru pt. N și M. Diagramele de proiectare sunt date pt. următoarele caracteristici:

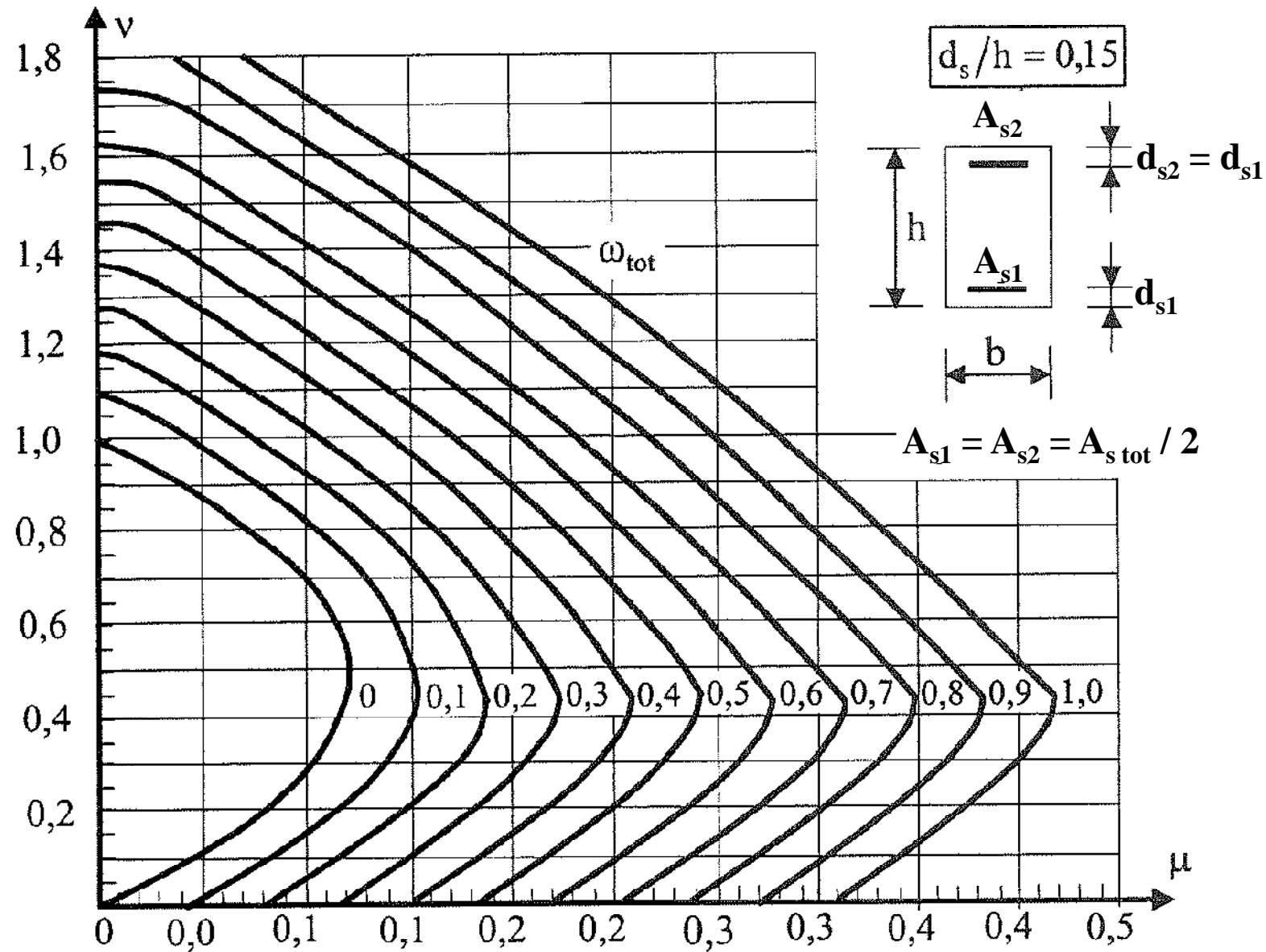
- orice clasa de beton  $\leq$  C40/50;
- diferite tipuri de oțel;
- $A_{s1} = A_{s2}$  ;
- $d_{s1} / h = d_{s2} / h$  ;
- $\mu = M_{Ed} / ( b \cdot h^2 \cdot f_{cd} )$  – moment încovoietor relativ;
- $\nu = N_{Ed} / ( b \cdot h \cdot f_{cd} )$  – forță axială relativă;
- $\omega_{\text{tot}} = ( A_{s \text{ tot}} \cdot f_{yd} ) / ( b \cdot h \cdot f_{cd} )$  – coef. mecanic de armare.



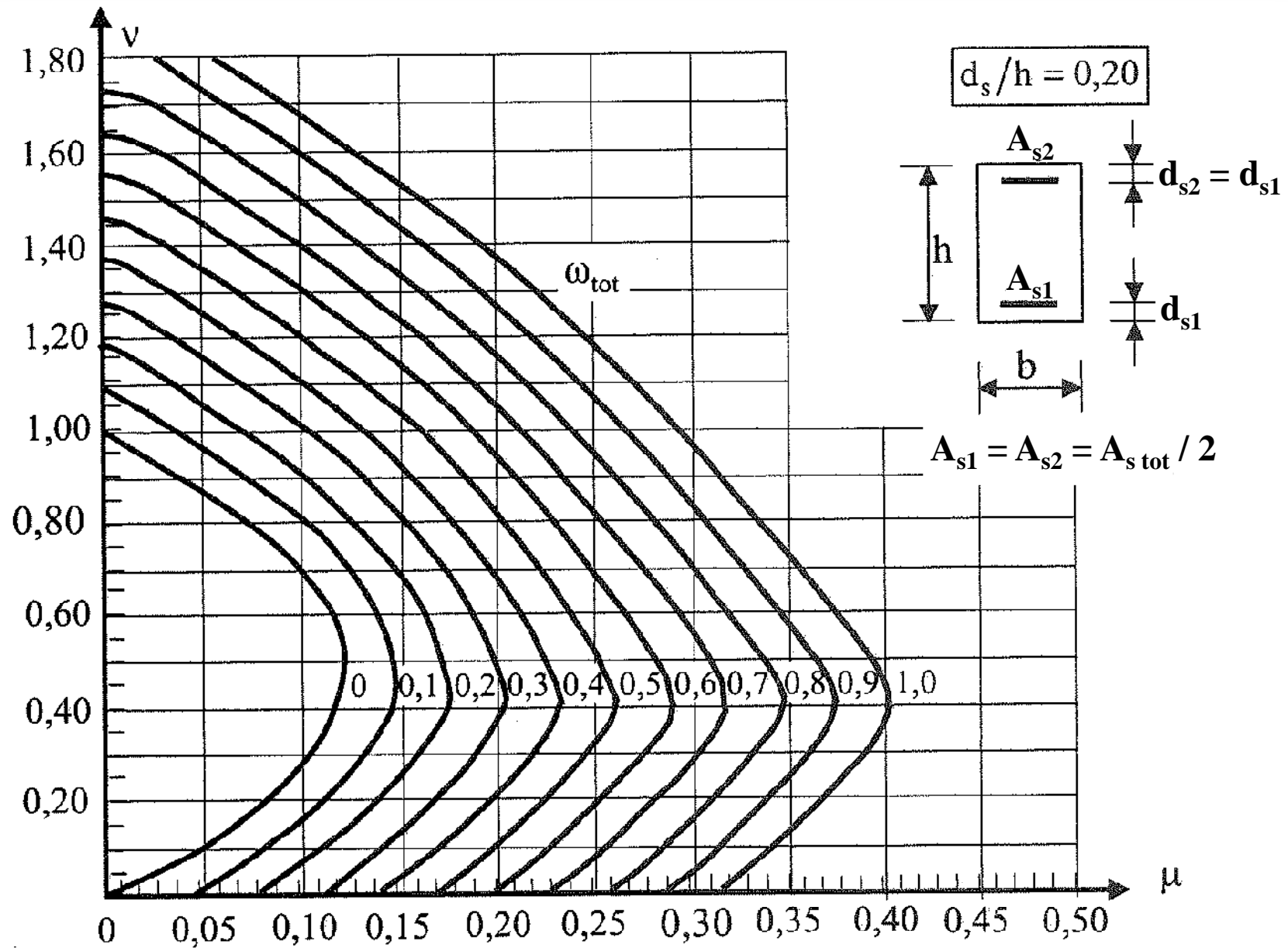
Diagramă M-N pt. proiectarea stâlpilor dreptunghiulari,  $d_s / h = 0.05$



Diagramă M-N pt. proiectarea stâlpilor dreptunghiulari,  $d_s / h = 0.10$



Diagramă M-N pt. proiectarea stâlpilor dreptunghiulari,  $d_s / h = 0.15$



Diagramă M-N pt. proiectarea stâlpilor dreptunghiulari,  $d_s / h = 0.20$



## PROIECTAREA STÂLPILOR DREPTUNGHIULARI

- Metodă aproximativă, pt.  $d_{s1} / d \approx 0.1$  ,  $\omega_{tot}$  va fi:

$$\omega_{tot} = \mu / (\lambda \cdot \beta) + v \quad \text{dacă } v \geq 0 ;$$

$$\omega_{tot} = (\mu - 0.55 \cdot v \cdot v_c) / (\lambda \cdot \beta) \quad \text{dacă } 0 > v \geq -0.85 ;$$

$$\omega_{tot} = \mu / (\lambda \cdot \beta) + v_c \quad \text{dacă } -0.85 > v .$$

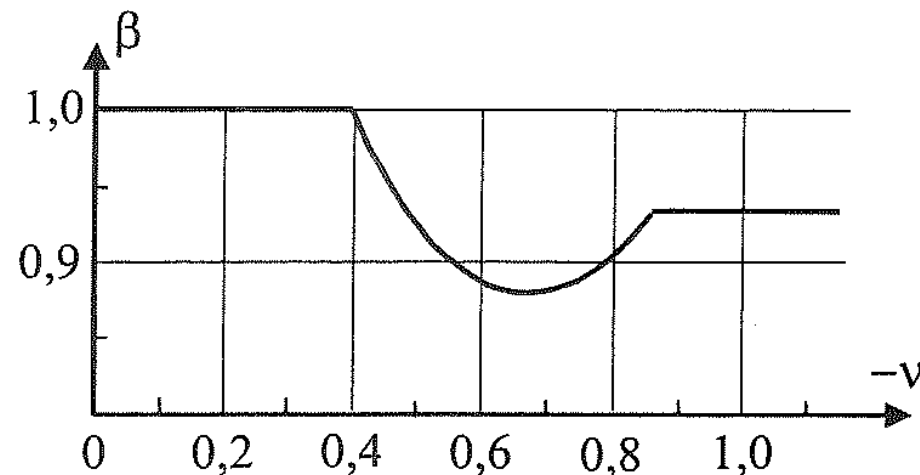
unde:

$v = N_{Ed} / (b \cdot h \cdot f_{cd})$  cu: “+” semn pt. întindere;  
 “-” semn pt. compresiune;

$$v_c = -0.85 - v ;$$

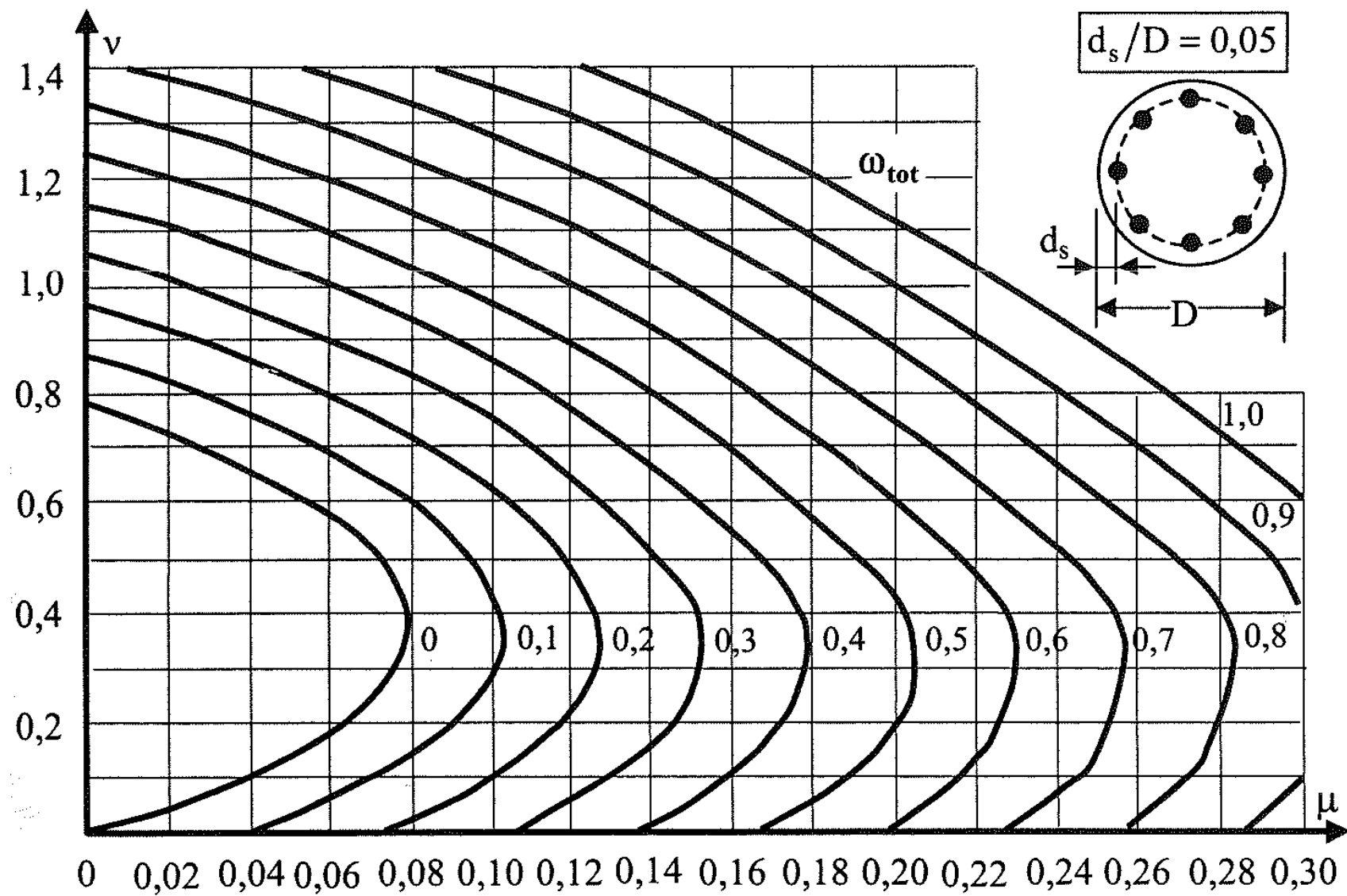
$$\lambda = 0.50 - d_s / h ;$$

$\beta =$  coeficient:

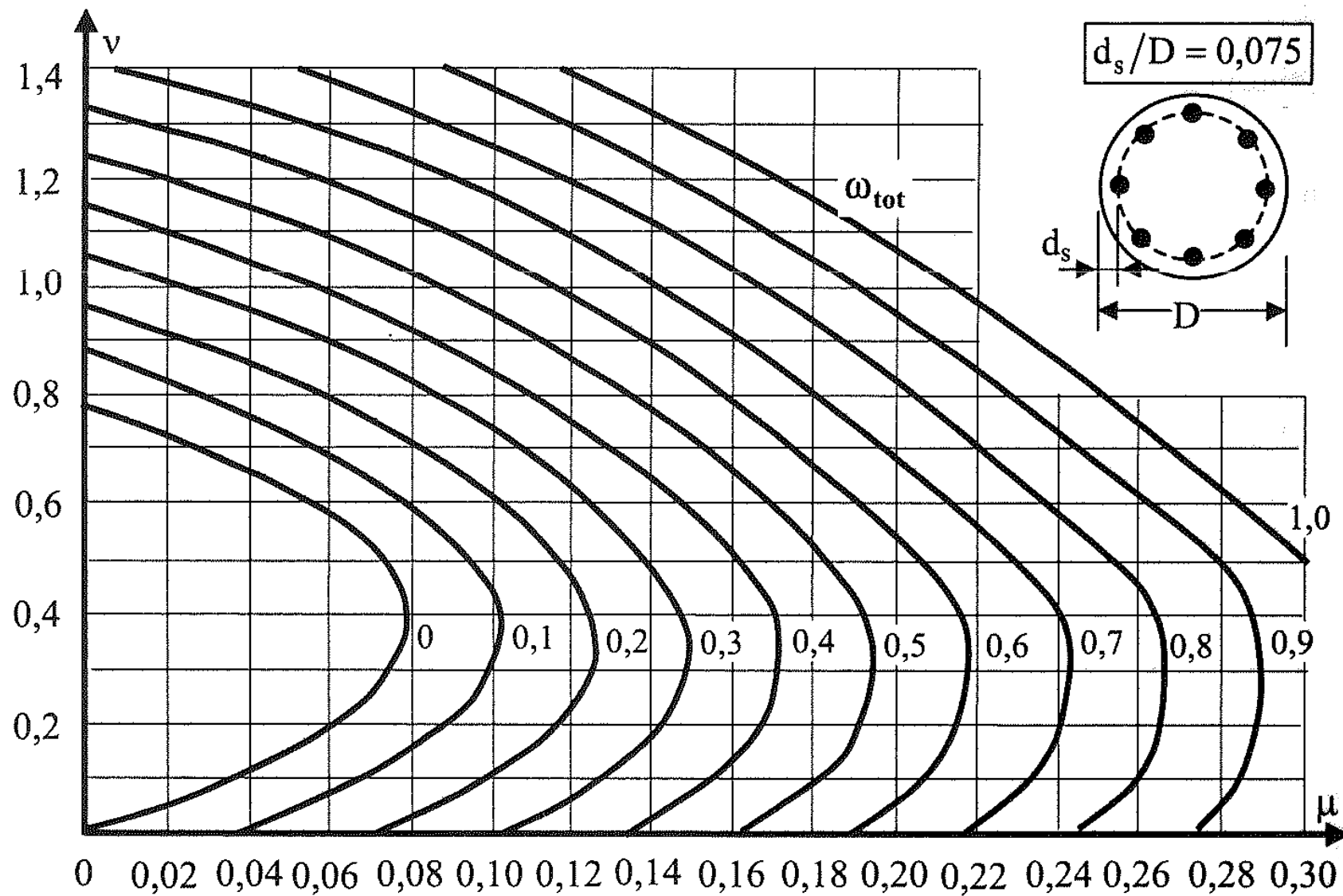


## PROIECTAREA STÂLPILOR CIRCULARI

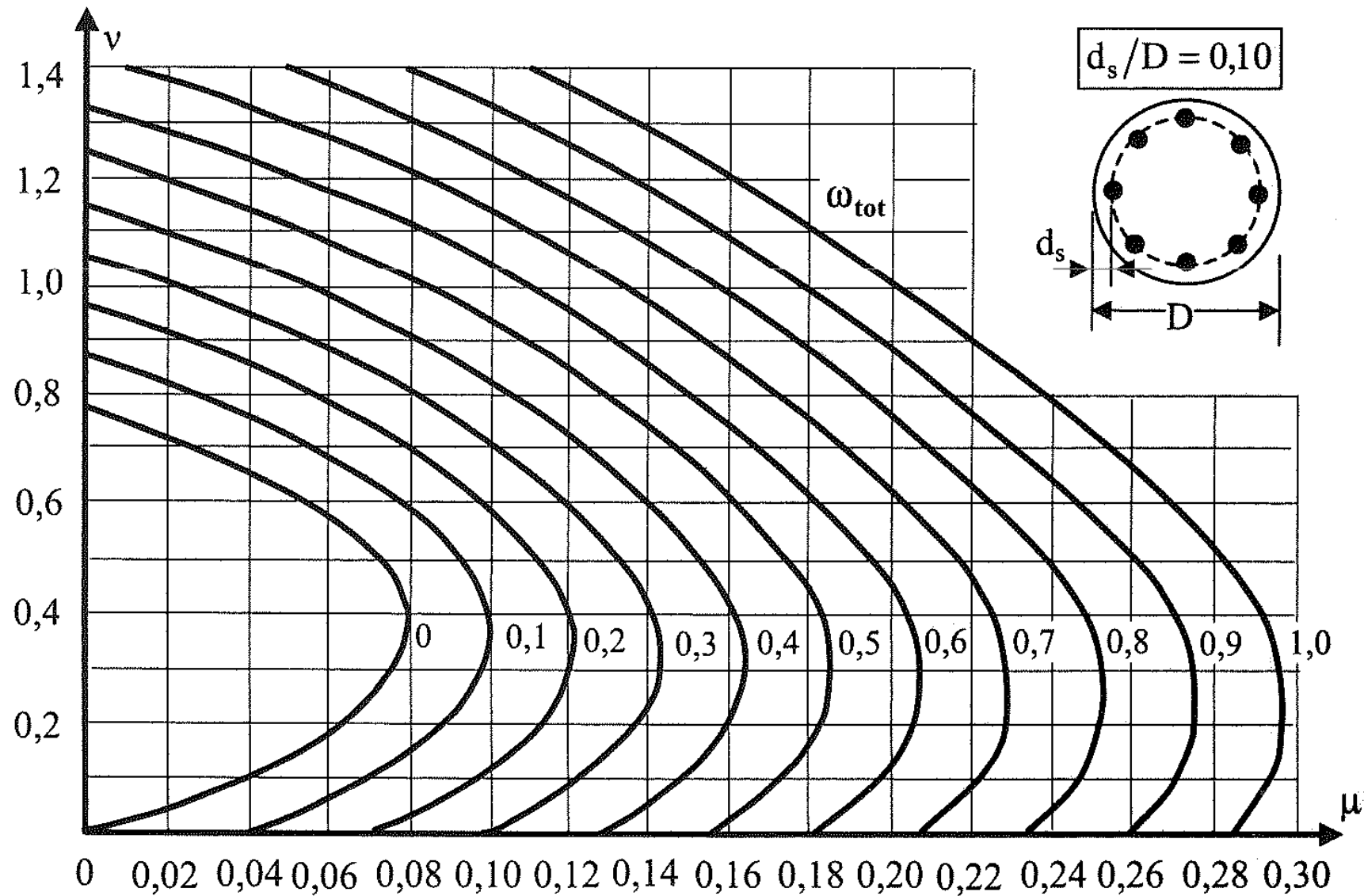
- Folosind diagrame de proiectare  $\Rightarrow A_{s \text{ tot}}$  – va fi uniform distribuită pe perimetrul secțiunii,  $\geq 6$  bare.
- Diagramele de proiectare sunt date pt. următoarele caracteristici:
  - orice clasa de beton  $\leq C40/50$ ;
  - diferite tipuri de oțel;
  - $d_s / D$  ;
  - $\mu = M_{Ed} / ( D^3 \cdot f_{cd} )$  – moment încovoietor relativ;
  - $\nu = N_{Ed} / ( D^2 \cdot f_{cd} )$  – forță axială relativă;
  - $\omega_{\text{tot}} = ( A_{s \text{ tot}} \cdot f_{yd} ) / ( D^2 \cdot f_{cd} )$  – coef. mecanic de armare.



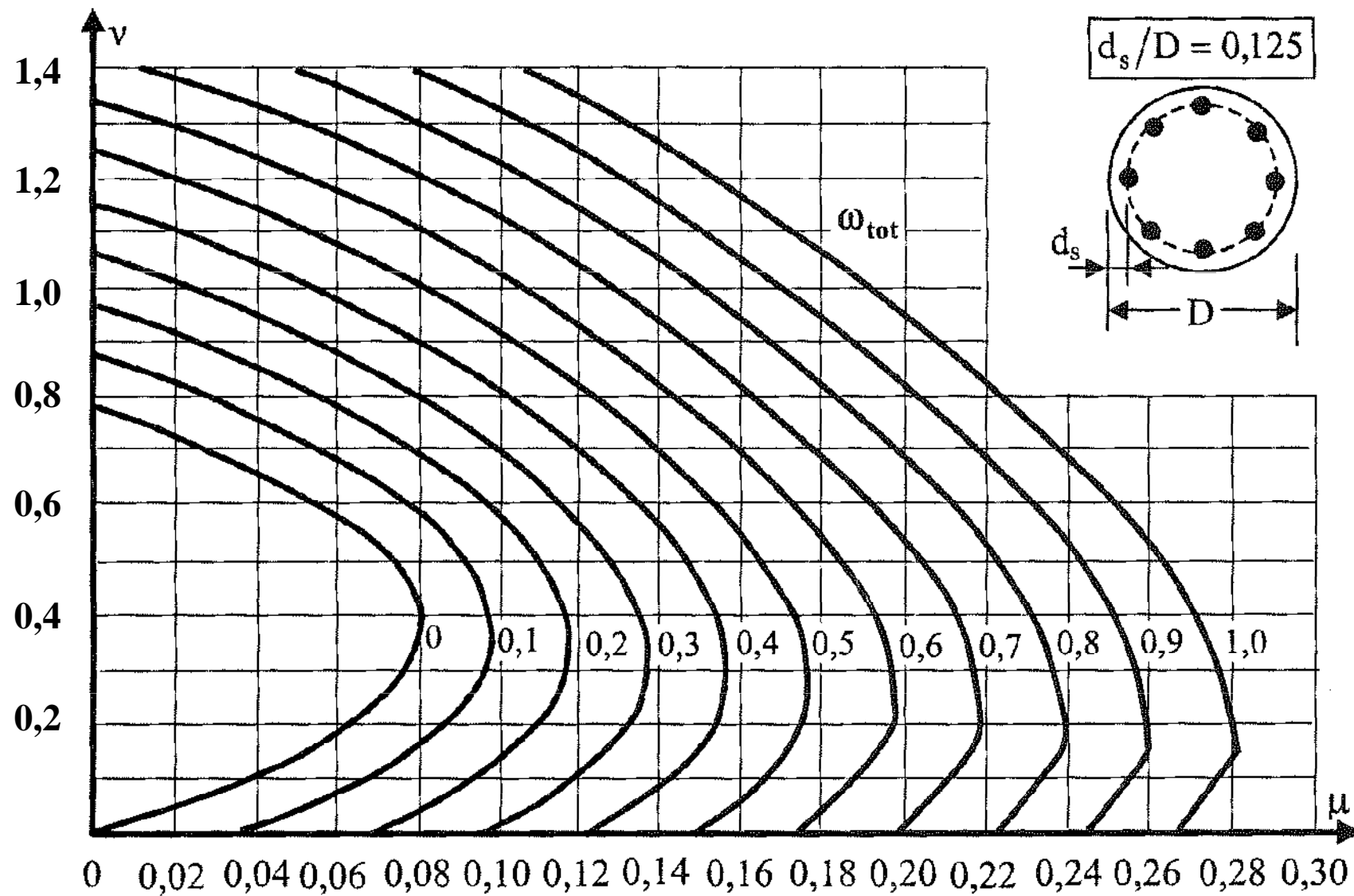
Diagramă M-N pt. proiectarea stâlpilor circulari,  $d_s / D = 0.05$



Diagramă M-N pt. proiectarea stâlpilor circulari,  $d_s / D = 0.075$



Diagramă M-N pt. proiectarea stâlpilor circulari,  $d_s / D = 0.10$



Diagramă M-N pt. proiectarea stâlpilor circulari,  $d_s / D = 0.125$

## PROIECTAREA STÂLPILOR CIRCULARI

- Metodă aproximativă, pt.  $0.15 \leq \omega_{\text{tot}} \leq 1.0$ ,  $A_{s \text{ tot}}$  va fi:

$$A_{s \text{ tot}} = \omega_{\text{tot}} \cdot A_c \cdot f_{cd} / f_{yd}$$

unde:

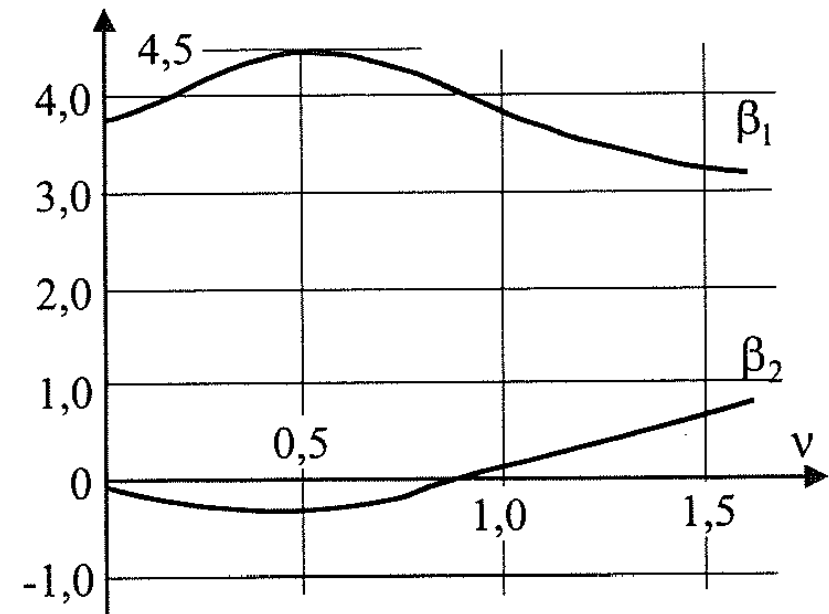
$$\omega_{\text{tot}} = \beta_1 \cdot v + \beta_2 ;$$

$\beta_1 ; \beta_2 =$  coeficienți funcție de

$$v = N_{Ed} / ( A_c \cdot f_{cd} ) ;$$

$$\mu = M_{Ed} / ( A_c \cdot D \cdot f_{cd} ) ;$$

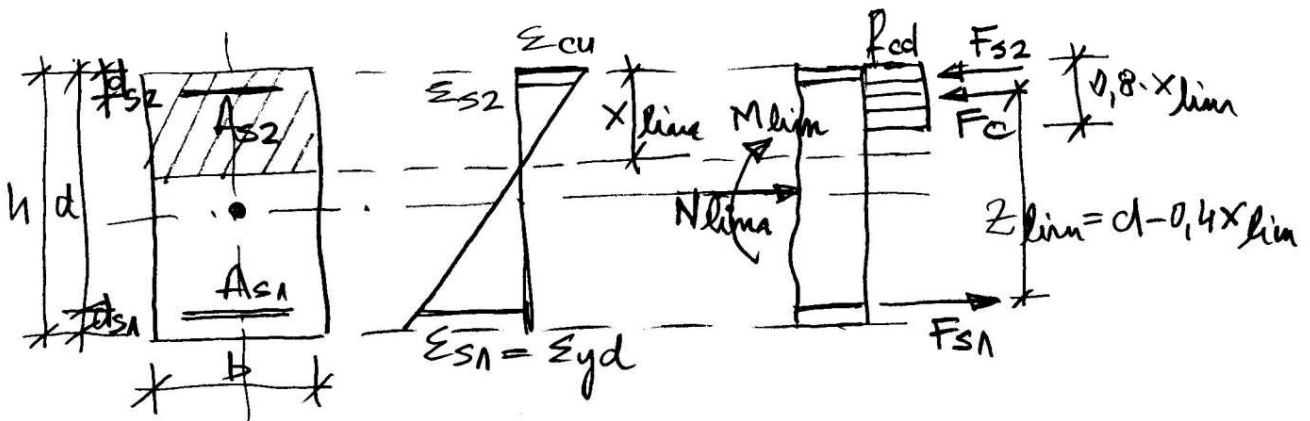
$$A_c = \pi \cdot D^2 / 4 ;$$



Calculul stălpilor folosind blocul de compresivitate

- punctul de balans pe curba M-N reprezentată limita dintre compresivitate în încovoiere preponderentă (pivotal B) și încovoiere cu compresivitate preponderentă (pivotal C).

- PROBLEMĂ ?? punctul de balans pt. staturile (M, N)



$$\xi_{lim} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} \quad (\text{ca și la încovoiere})$$

$$x_{lim} = \xi_{lim} \cdot d$$

Ecuații de echilibru:

$\sum X = 0:$   $N_{lim} + F_{s1} - F_{s2} - F_c = 0$  if  $A_{s1} = A_{s2}$   
 $F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd}$      $F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd}$

$$N_{lim} = b \cdot (0,8 \cdot x_{lim}) \cdot f_{cd} = 0,8 \xi_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}$$

$\sum M = 0:$   $M_{lim} + N_{lim} (h/2 - d_{s1}) - F_c \cdot z_{lim} - F_{s2} (d - d_{s2}) = 0$   
 by  $F_{s1}$   $M_{lim} = N_{lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} (d - d_{s2}) - N_{lim} (h/2 - d_{s1})$

$N_{Ed} \leq N_{lim}$  DA → compresivitate cu încovoiere preponderentă → PIVOT B

↓ NU

încovoiere cu compresivitate preponderentă → PIVOT C



Compresime cu încovoiere preponderantă (mare excentricitate)

- PIVOT B : ruperea se produce prin curgerea arm. întinse și zdrobirea betonului comprimat

$$\xi \leq \xi_{lim} \text{ SAU } N_{Ed} \leq 0,8 \cdot \xi_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}$$

- efortul din arm. comprimată depinde de poziția axei neutre: (ca și la încovoiere)

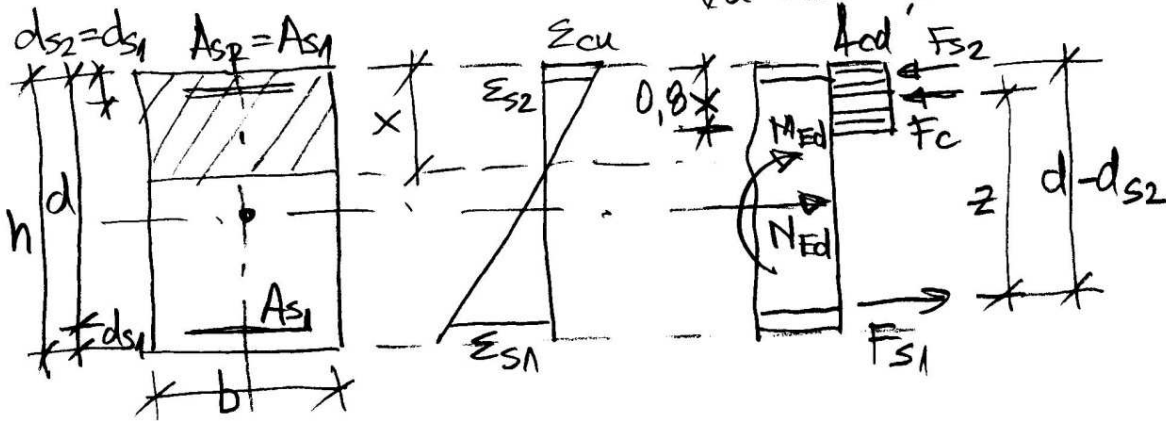
$$x \geq \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd}} \cdot d_{s2} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$x < x_y$$

$$\Rightarrow \sigma_{s2} < f_{yd}$$

simplificare:

$F_c$  și  $F_{s1}$  sunt plasate la același nivel



Ecuații de echilibru:

$$\sum X = 0 : N_{Ed} + F_{s1} - F_{s2} - F_c = 0$$

$$N_{Ed} + A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} - b \cdot 0,8x \cdot f_{cd} = 0$$

$$x = \frac{A_{s1} (f_{yd} - \sigma_{s2}) + N_{Ed}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} \quad \text{(IN GENERAL)}$$

dacă  $x \geq x_y$  :  $\sigma_{s2} = f_{yd}$

$$x = \frac{N_{Ed}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} \quad \xi = \frac{N_{Ed}}{0,8 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}} \leq \xi_{lim}$$

NU → PIVOT C  
încovoiere  
cu compres.  
preponderantă

↓ DA  
PIVOT B  
Compresime cu încovoiere preponderantă

$$\sum M = 0 : M_{Ed} + N_{Ed} (h/2 - d_{s1}) - F_c \cdot z - F_{s2} (d - d_{s1}) = 0$$

în jurul  $A_{s1}$

$$M_{Ed} + N_{Ed} (h/2 - d_{s1}) - \underbrace{b \cdot 0,8x \cdot f_{cd}}_{N_{Ed}} (d - 0,4x) - A_{s2} f_{yd} (d - d_{s2}) = 0$$

$$M_{Ed} + N_{Ed} (0,5 \cdot h - d_{s1} - \underbrace{d + 0,4 \cdot x}_{h - d_{s1}}) - A_{s2} f_{yd} (d - d_{s2}) = 0$$

$$M_{Ed} + N_{Ed} (-0,5h + 0,4x) - A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (d - d_{s2}) = 0$$

$M_{Rd}$

în final:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = N_{Ed} \frac{h - 0,8x}{2} + A_{s2} \cdot f_{yd} (d - d_{s2})$$

dacă

- $x < x_y$  - arm.  $A_{s2}$  nu ajunge la curgere
- simplificare:  $F_c$  și  $F_{s2}$  sunt plasate la același nivel ( $x$  - valoare mică)

$$\sum M = 0 : M_{Ed} - N_{Ed} (h/2 - d_{s2}) - F_{s1} (d - d_{s2}) = 0$$

în jurul  $A_{s2}$

$M_{Rd}$

în final:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = N_{Ed} \left( \frac{h}{2} - d_{s2} \right) + A_{s1} f_{yd} (d - d_{s2})$$

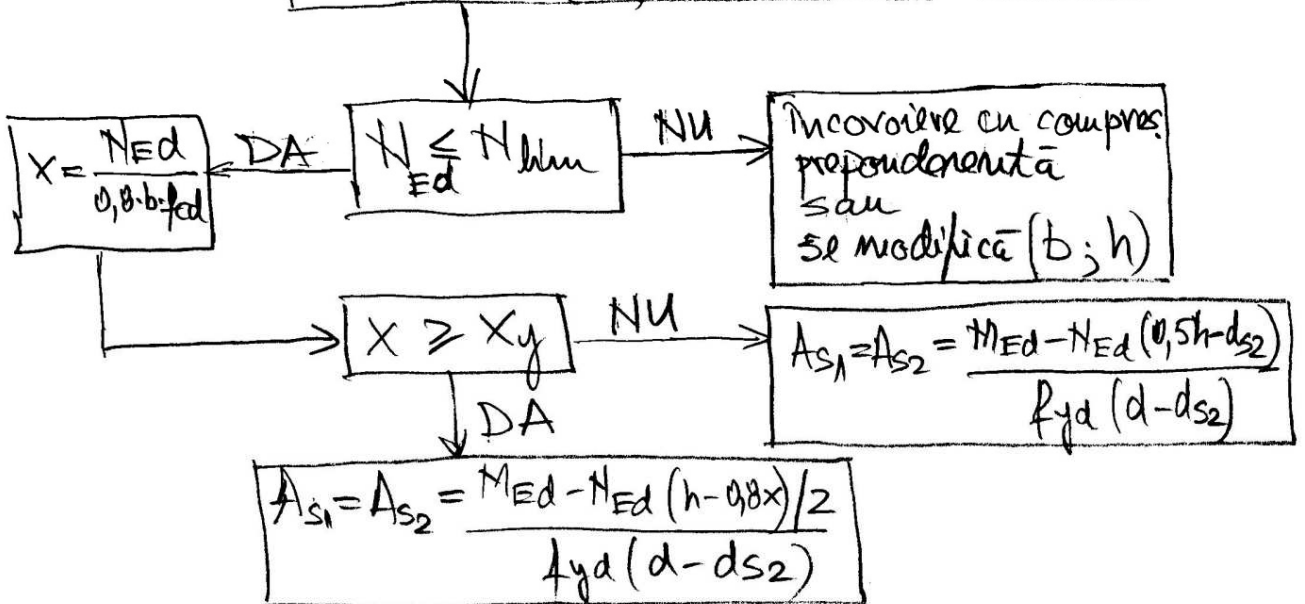
PROIECTAREA SECȚIUNII TRASVERSEALE

CUNOSCUTE :  $b ; h ; f_{cd} ; f_{yd} ; M_{Ed} ; N_{Ed}$

NECUNOSCUTE:  $A_{s1} = A_{s2} ; x$

$$N_{lim} = 0,8 \cdot \xi_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \quad \text{--- situația de proiectare persistentă}$$

$$\text{sau } N_{lim} = 0,4 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} \quad \text{--- situația de proiectare seismică}$$

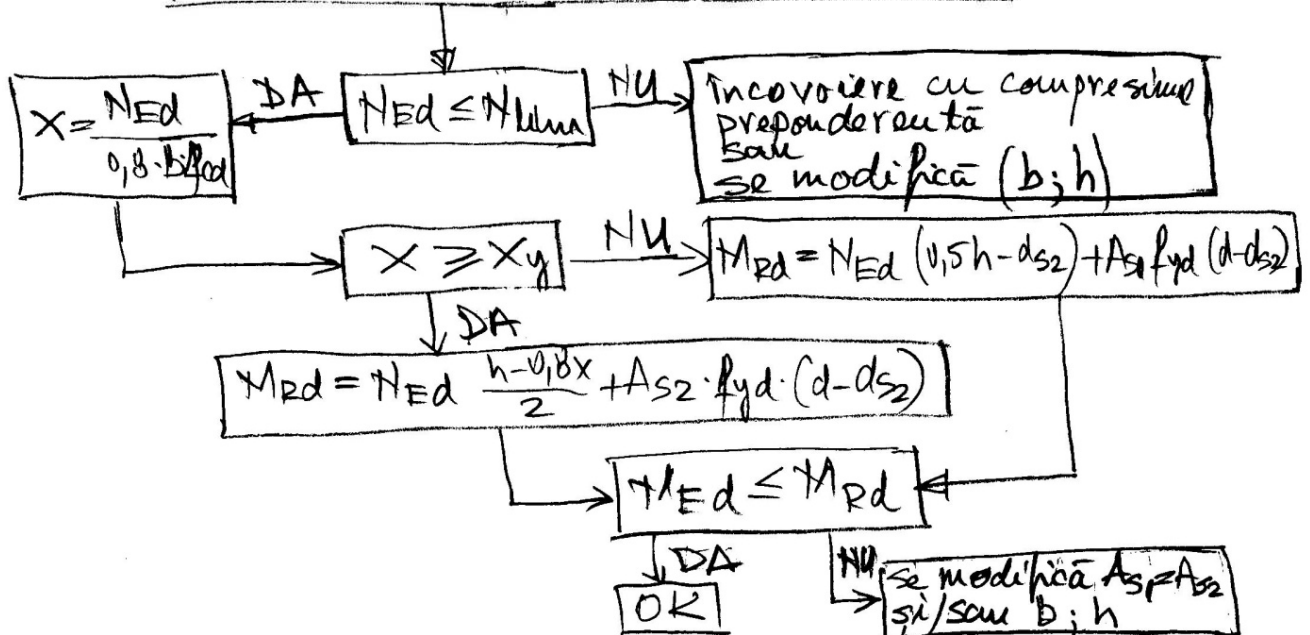


VERIFICAREA SECȚIUNII TRASVERSEALE

CUNOSCUTE:  $b ; h ; A_{s1} = A_{s2} ; f_{cd} ; f_{yd} ; M_{Ed} ; N_{Ed}$

NECUNOSCUTE:  $M_{Rd} ; x$

$$N_{lim} = 0,8 \cdot \xi_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \quad \text{sau} \quad 0,4 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$$



Încovoiere cu compresiune proporzionată (unică excentricitate)

- principalele caracteristici:

- nu curge arm.  $A_{s1}$  ( $\xi > \xi_{lim}$ ;  $N_{ed} > N_{lim}$ )

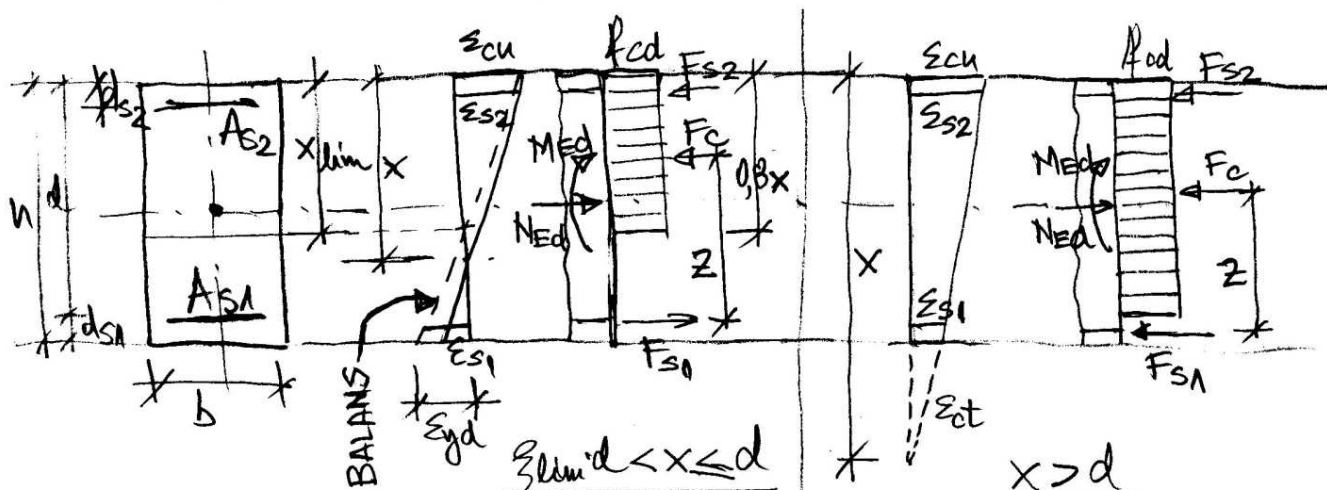
- 2 cazuri privind poziția axei neutre:

$x \leq d \rightarrow A_{s1}$  - solicitată la întindere

$x > d \rightarrow A_{s1}$  - solicitată la compresiune

- situație de proiectare nepenunioasă la acțiunile seismice  
(un 'apa articulată'  $\rightarrow$  nu se disipă energia datorată deformațiilor mari)

- ruperea se produce prin zdrobirea betonului comprimat și cingerea armăturii comprimate - **PIVOT C**



$\xi_{lim} d < x \leq d$   
 $\sigma_1$  - efort de întindere

$x > d$   
 $\sigma_1$  - efort de compresiune

- se presupune:

$$\sigma_{s1} = (a \cdot \xi + b) f_{yd}$$

- pt. cauzile particulare:

$$\xi = 1 \Rightarrow x = d \Rightarrow \sigma_{s1} = 0$$

$$(1) \quad (a \cdot 1 + b) f_{yd} = 0$$

$$\xi = 1,25 \Rightarrow 0,8x = d \Rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$(2) \quad (a \cdot 1,25 + b) f_{yd} = f_{yd}$$

- din (1) și (2)  $\Rightarrow \begin{cases} a = 4 \\ b = -4 \end{cases}$

$$\Rightarrow \sigma_{s1} = 4(\xi - 1) f_{yd}$$

$$\frac{\epsilon_{cu}}{x_{lim}} = \frac{\epsilon_{yd}}{d - x_{lim}} \quad \epsilon_{cu} = x_{lim} \cdot \frac{\epsilon_{yd}}{d - x_{lim}}$$

$$\frac{\epsilon_{cu}}{x} = \frac{\epsilon_{s1}}{d - x} \quad \epsilon_{cu} = x \cdot \frac{\epsilon_{s1}}{d - x}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{x_{lim} \cdot d - x}{x \cdot d - x_{lim}} \cdot \epsilon_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = \epsilon_{s1} \cdot E_s = \frac{\xi_{lim}}{\xi} \cdot \frac{1 - \xi}{1 - \xi_{lim}} \cdot f_{yd}$$

- CONCLUZIE:

$$\sigma_{s1} = f\left(\frac{x}{\xi}\right) \cdot f_{yd} \quad (3)$$

$$\text{cu } f\left(\frac{x}{\xi}\right) = \begin{cases} \xi_{lim} \cdot \frac{1-\xi}{1-\xi_{lim}} & \text{if } \xi_{lim} < \xi \leq 1 \\ -4\left(\frac{\xi}{3}-1\right) & \text{if } 1,0 < \xi \leq 1,25 \\ -1 & \text{if } \xi > 1,25 \end{cases}$$

Ecuații de echilibru:

$$\sum X = 0: N_{Ed} + F_{s1} - F_c - F_{s2} = 0$$

(4)

$$N_{Ed} + A_{s1} f\left(\frac{x}{\xi}\right) \cdot f_{yd} - 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} - A_{s2} \cdot f_{yd} = 0$$

$$\sum M = 0:$$

in jurul  $F_{s1}$

$$M_{Ed} + N_{Ed} (h/2 - d_{s1}) - F_c \cdot z - F_{s2} (d - d_{s2}) = 0$$

$$M_{Ed} \leq 0,8 \cdot x \cdot b (d - 0,1 \cdot x) f_{cd} + A_{s2} f_{yd} (d - d_{s2}) - N_{Ed} (h/2 - d_{s1})$$

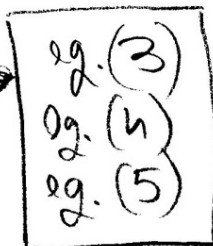
$$(5) \quad M_{Ed} \leq M_{Rd} = \xi (1 - 0,1 \cdot \xi) b d^2 f_{cd} + A_{s2} f_{yd} (d - d_{s2}) - N_{Ed} (h/2 - d_{s1})$$

proiectarea secțiunii transversale

CUNOSCUTE:  $b; h; f_{cd}; f_{yd}; N_{Ed}; M_{Ed}$   
 NECUNOSCUTE:  $A_{s1} = A_{s2}; x; \sigma_{s1}$

verificarea secțiunii transversale

$b; h; A_{s1} = A_{s2}; f_{cd}; f_{yd}; N_{Ed}; M_{Ed}$   
 $M_{Rd}; x; \sigma_{s1}$



- Sistem de ecuații nedeterminat
- Soluțiile se pot găsi prin iterații succesive pt. diferite valori  $\xi$ .

## ELEMENTE DE BAZĂ

- Majoritatea stâlpilor sunt solicitați la compresiune cu încovoiere oblică (după 2 direcții) deoarece fac parte din structuri spațiale 3D.
- Din analiza statică spațială  $\Rightarrow N ; V_y ; V_z ; T ; M_y ; M_z$ .
- $( N ; M_y ; M_z )$  reprezintă compresiune cu încovoiere oblică. Secțiunile transversale cu combinațiile critice de momente încovoietoare trebuie atent identificate.
- În prima etapă, se poate face proiectarea separată pe fiecare direcție principală fără luarea în considerare a încovoierii oblice.
- Imperfecțiunile trebuie luate în considerare numai pe o direcție, cea pe care sunt cele mai defavorabile.

## ELEMENTE DE BAZĂ

- Verificări suplimentare nu sunt necesare dacă:

$$\lambda_y / \lambda_z \leq 2 \quad \text{sau} \quad \lambda_z / \lambda_y \leq 2$$

$$\text{și} \quad \frac{e_z/b}{e_y/h} \leq 0.2 \quad \text{sau} \quad \frac{e_y/h}{e_z/b} \leq 0.2$$

unde:  $b$  ;  $h$  = dimensiunile secțiunii transversale;

$\lambda$  =  $l_0 / i$  coeficientul de zveltețe după axa  $y$  și  $z$  ;

$i$  = raza de girație după axa  $y$  și  $z$  ;

$e_z$  =  $M_{Edy} / N_{Ed}$  ; excentricitatea după axa  $z$  ;

$e_y$  =  $M_{Edz} / N_{Ed}$  ; excentricitatea după axa  $y$  ;

$M_{Ed}$  = momentul de calcul de ordinul II;

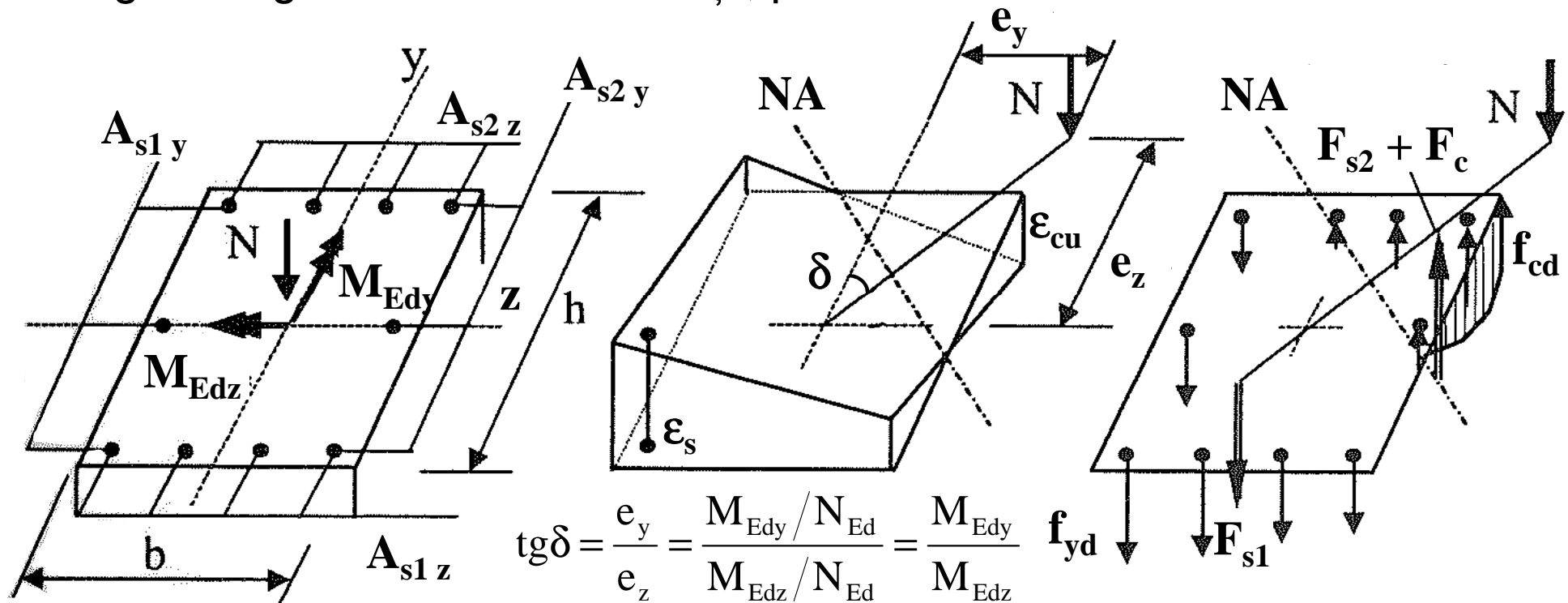
$N_{Ed}$  = forța axială de calcul din aceeași combinație de înc.

- Dacă condițiile anterioare nu sunt satisfăcute  $\Rightarrow$  în proiectarea la încovoiere oblică se vor considera efectele de ordinul II de pe fiecare direcție (dacă nu se pot ignora, așa cum s-a arătat anterior, la compresiune cu încovoiere pe o direcție).

## ELEMENTE DE BAZĂ

### Ipoteze simplificatoare:

- Ipoteza lui Bernoulli;
- Poziția AN este dată de condiția: forțele interioare  $F_{s1}$  și  $(F_{s2} + F_c)$  să fie pe dreapta ce trece prin centrul ST și încărcarea ext. excentrică N;
- cedarea la compresiune cu încovoiere oblică se produce conform diagramei generale de deformații, prin PIVOT B sau PIVOT C.





## PROIECTAREA PRIN PROCEDEUL GENERAL

- Folosind programe de computer.
- Folosind diagrame = secțiuni  
orizontale ale suprafeței →

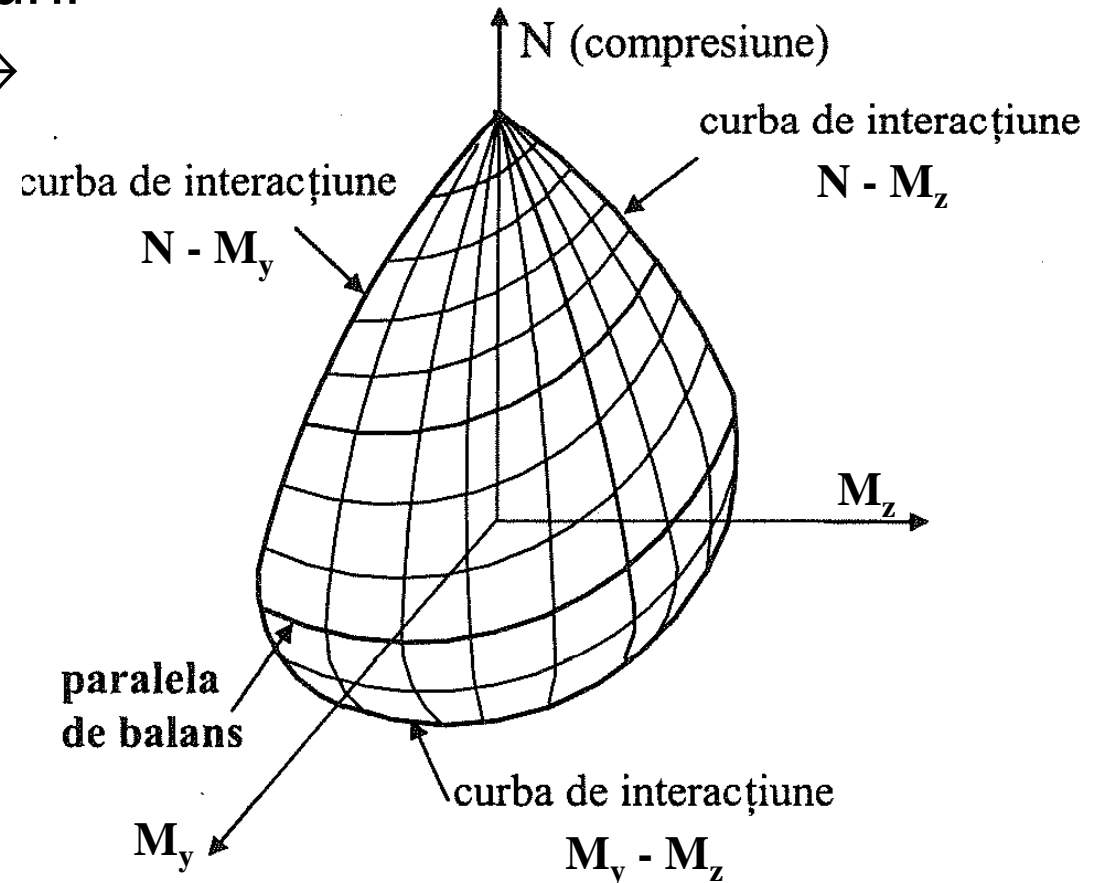
$$\text{- pt. } v = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

$$\text{\textcircled{S}} \mu_{Edz} = \frac{M_{Edz}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\text{\textcircled{S}} \mu_{Edy} = \frac{M_{Edy}}{h \cdot b^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\Rightarrow \omega_s = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\Rightarrow A_{s,tot}$$



## PROIECTAREA PRIN PROCEDEUL SIMPLIFICAT

- Secțiunile orizontale ale suprafeței de interacțiune sunt simplificate:

- ecuația curbei (elipsă) simplificată:

$$\left(\frac{M_{Rdy1}}{M_{Rdy}}\right)^a + \left(\frac{M_{Rdz1}}{M_{Rdz}}\right)^a = 1$$

- condiția de verificare:

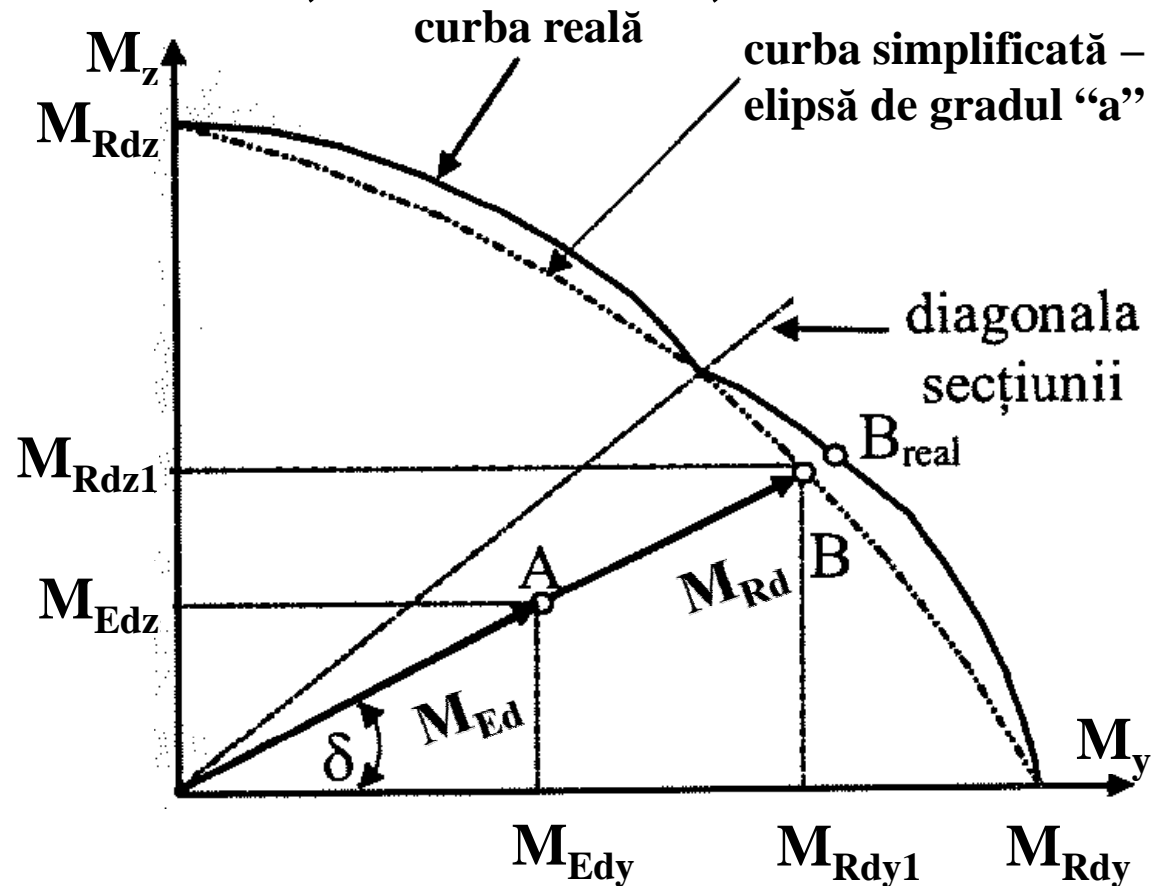
$$\left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a \leq 1$$

unde:

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

$a = 2$  pt. ST circulare, iar pt. ST dreptunghiulare:

$N_{Ed} / N_{Rd}$	0.1	0.7	1.0
$a =$	1.0	1.5	2.0



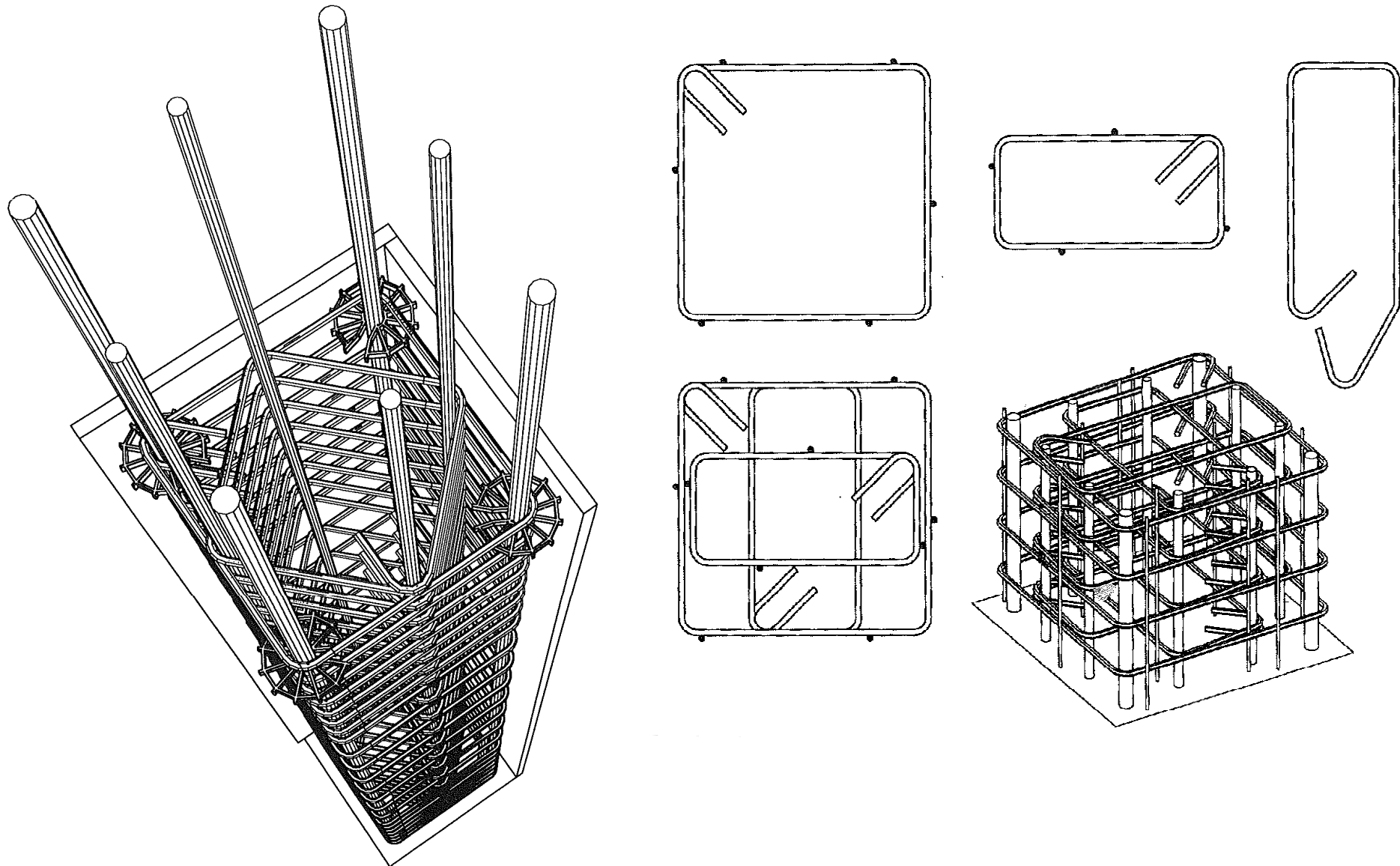
## VERIFICAREA SECȚIUNII TRANSVERSALE

- Procedeu folosit în proiectare:
  - inițial, armarea este proiectată la compresiune cu încovoiere după fiecare direcție ( y ; z );
  - în final, cu armarea totală cunoscută, se face verificarea la încovoiere oblică.

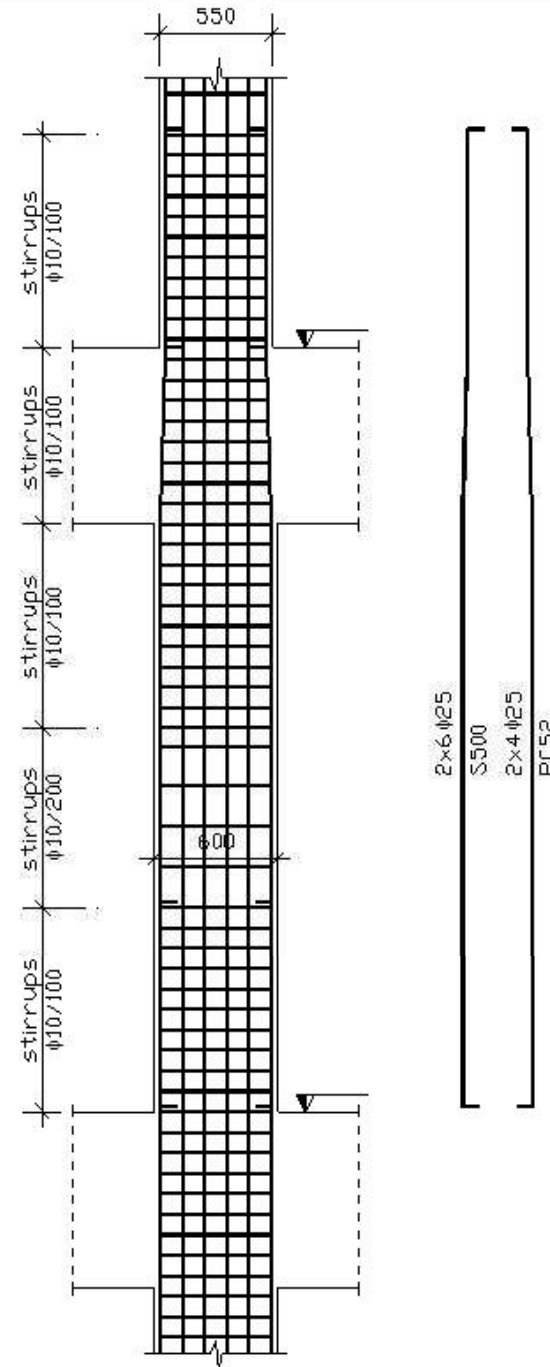
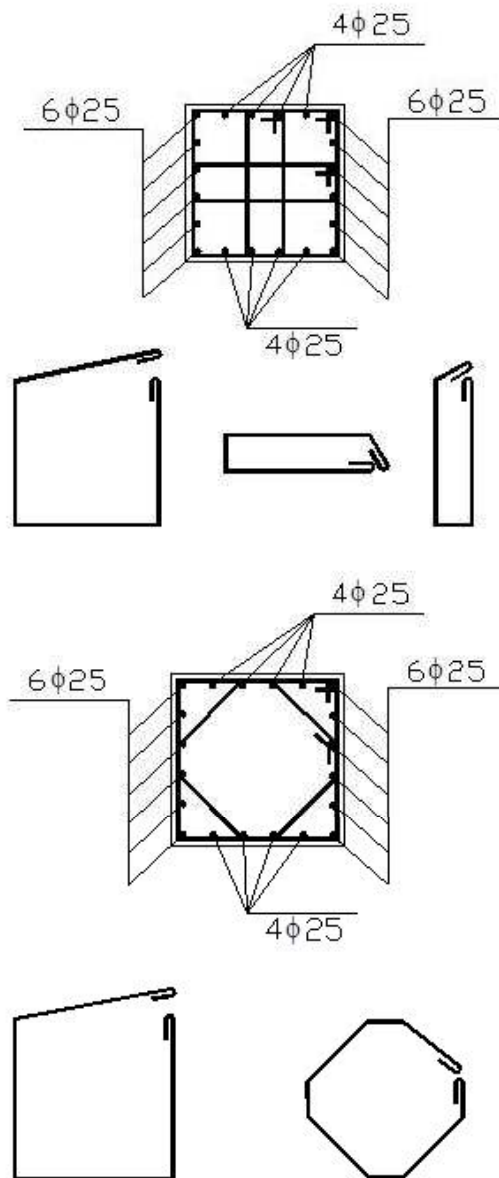
- **CUNOSCUTE:**  $b$  ;  $h$  ;  $A_{s,tot}$  ;  $f_{cd}$  ;  $f_{yd}$  ;  $N_{Ed}$  ;  $M_{Edy}$  ;  $M_{Edz}$

- $N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$
- $N_{Ed} / N_{Rd} \Rightarrow a$
- Ca și pt. compresiunea cu încovoiere după o direcție:
  - pt. direcția y :  $( A_{s1} ; A_{s2} )_y ; N_{Ed} \Rightarrow M_{Rdy}$  ;
  - pt. direcția z :  $( A_{s1} ; A_{s2} )_z ; N_{Ed} \Rightarrow M_{Rdz}$  ;
- Verificarea: 
$$\left( \frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} \right)^a + \left( \frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} \right)^a \leq 1$$

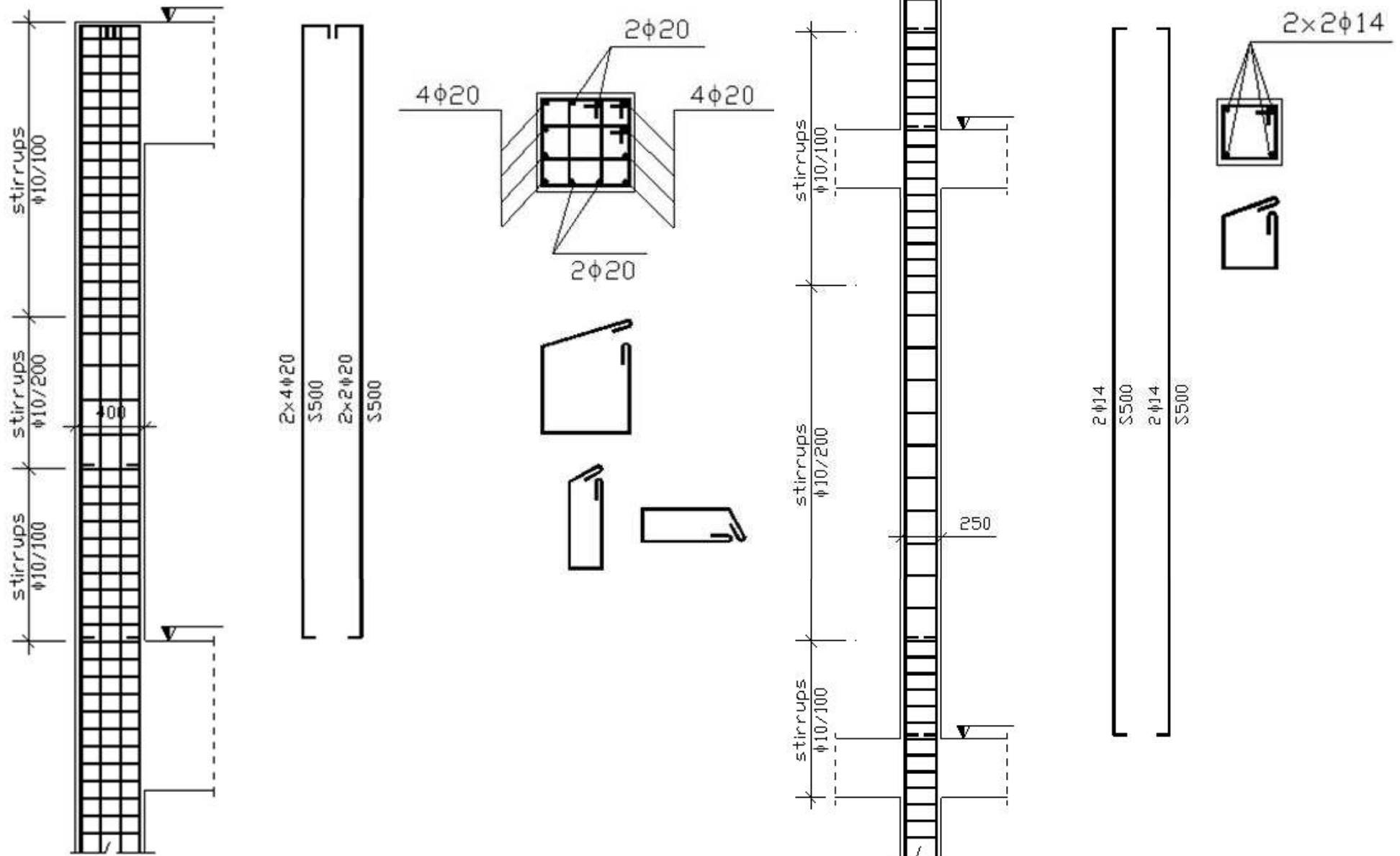
- Stâlpi dreptunghiulari:



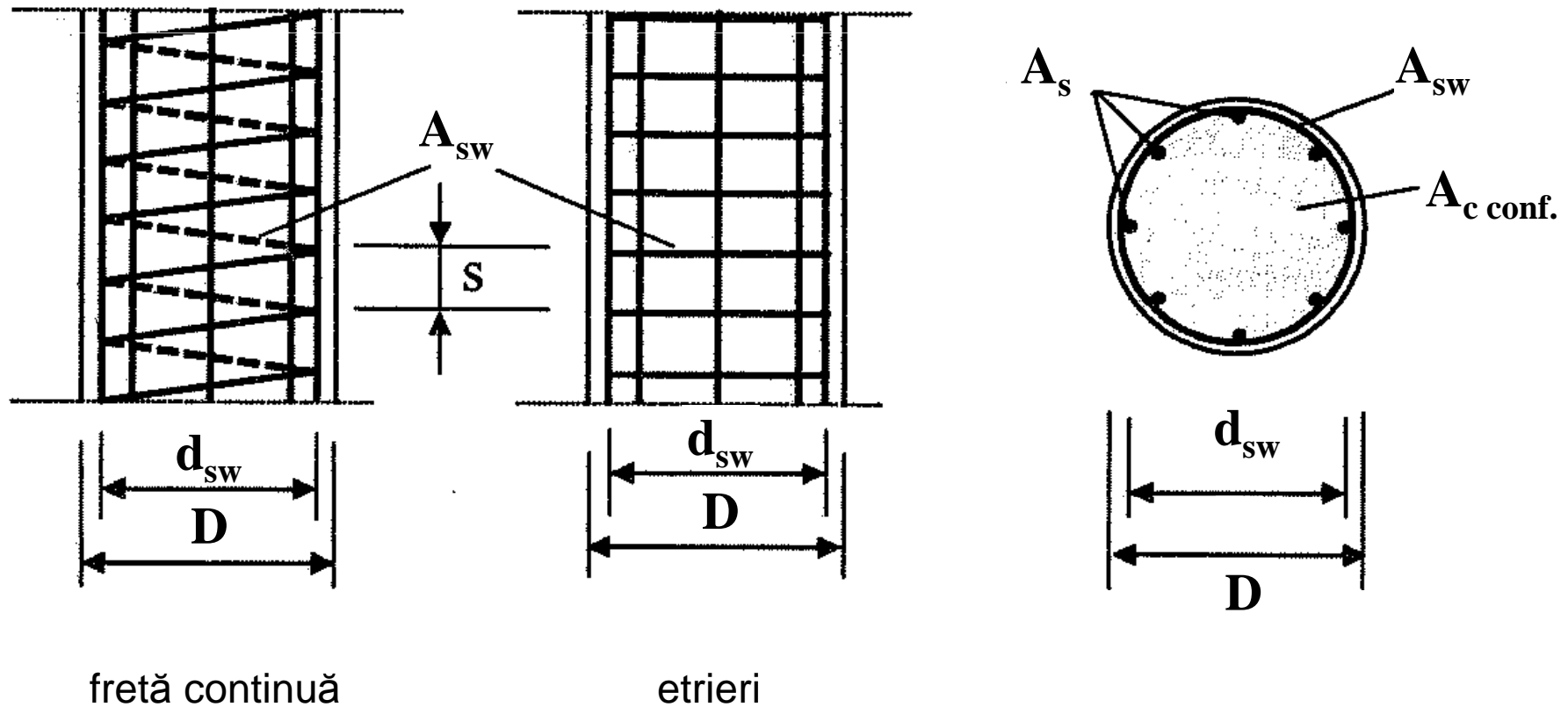
## - Stâlpi dreptunghiulari:



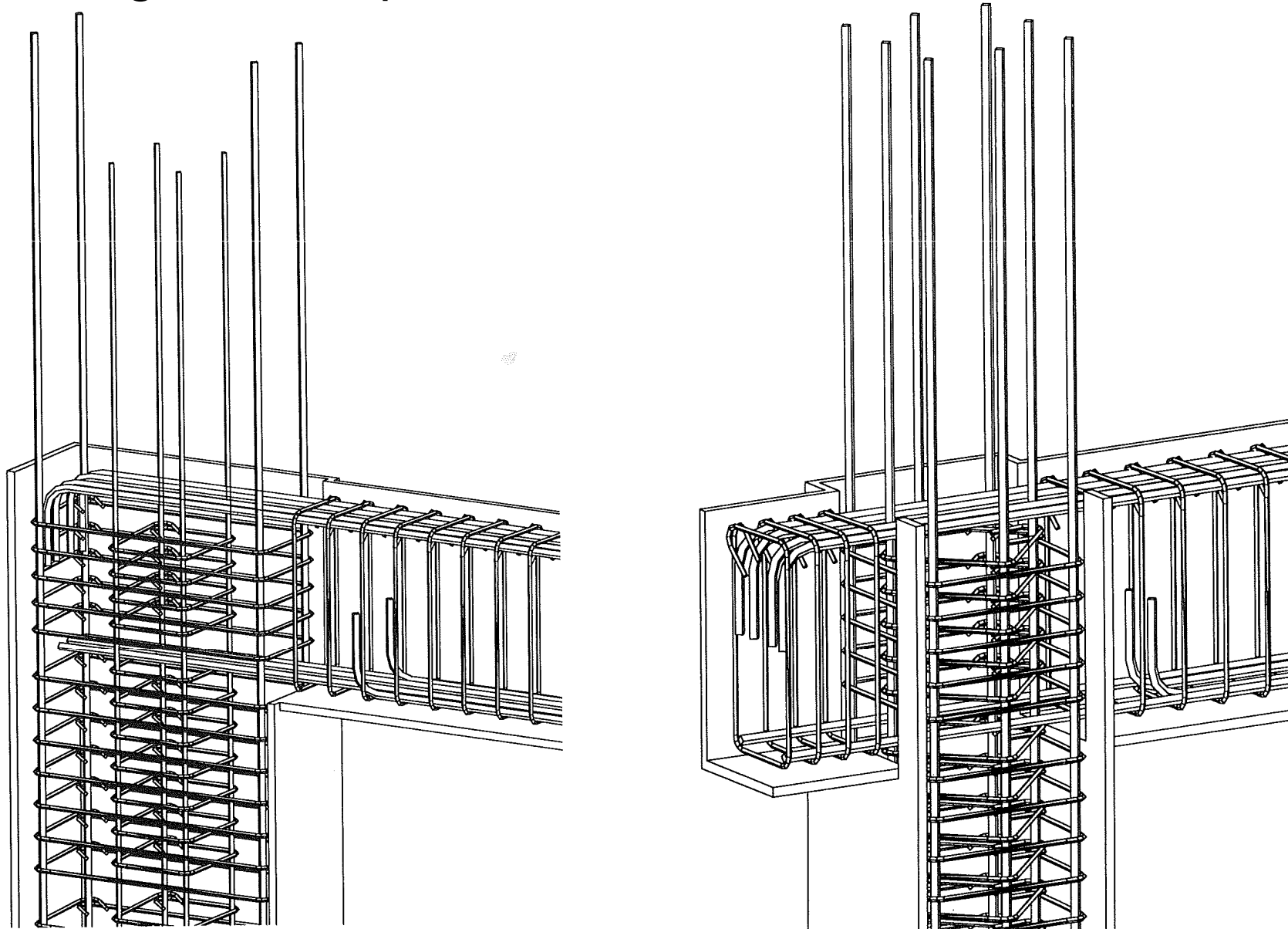
- Stâlpi dreptunghiulari :



- Stâlpi circulari:



- Noduri grindă-stâlp:





- Noduri grindă-stâlp:

