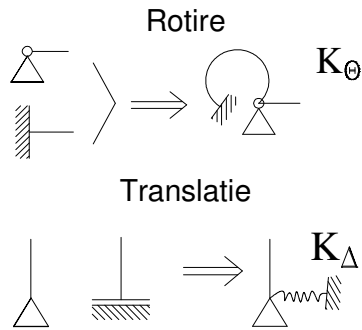


Curs 3

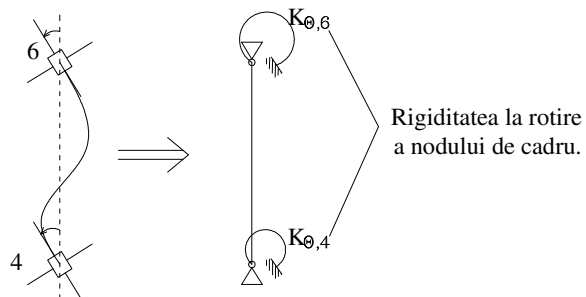
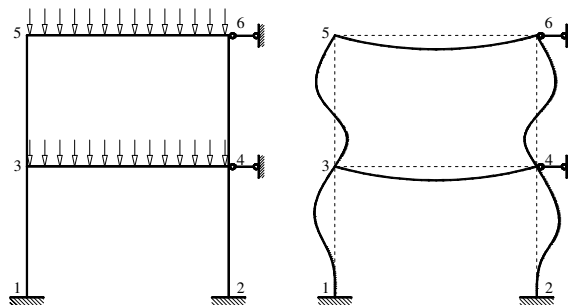
FLAMBAJUL BARELOR COMPRESATE : INFLUENTA CONDITIILOR DE REZEMARE

- Cazurile fundamentale de flambaj au in general un caracter teoretic, intalnindu-se arareori in practica. **Conditile reale de rezemare sau legare in structuri a barelor comprimate difera de cele mai multe ori de cazurile fundamentale.**
- Conditile reale de rezemare se incadreaza de regula intre cazurile teoretice fundamentale.

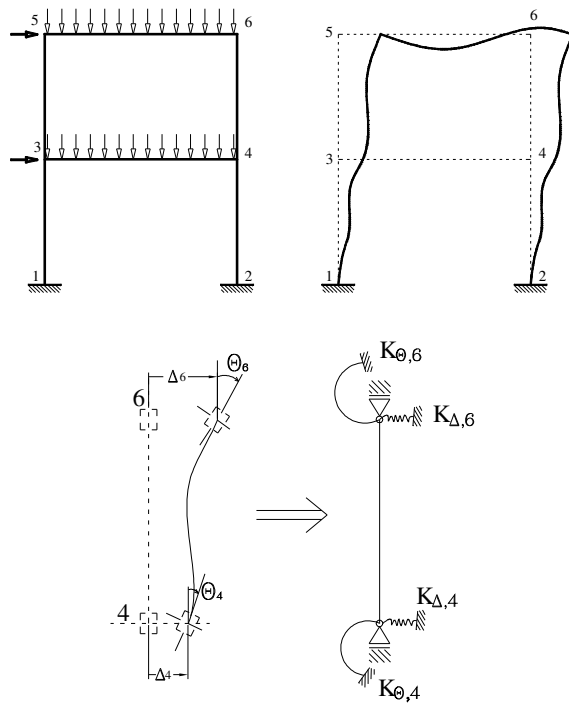


Exemple:

Cadre cu noduri fixe:



Cadre cu noduri deplasabile:



Prevederi pentru lungimea de flambaj a cadrelor etajate (P100-1/2006)

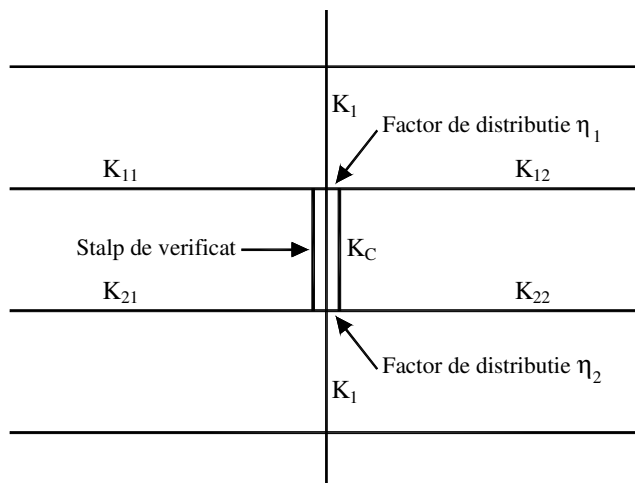


Figura F.6 – Factori de distribuție pentru stâlpii continui

$$\eta_1 = \frac{K_C + K_1}{K_C + K_1 + K_{11} + K_{12}} \quad (\text{F.1})$$

$$\eta_2 = \frac{K_C + K_2}{K_C + K_2 + K_{21} + K_{22}} \quad (\text{F.2})$$

Cadre cu noduri fixe :

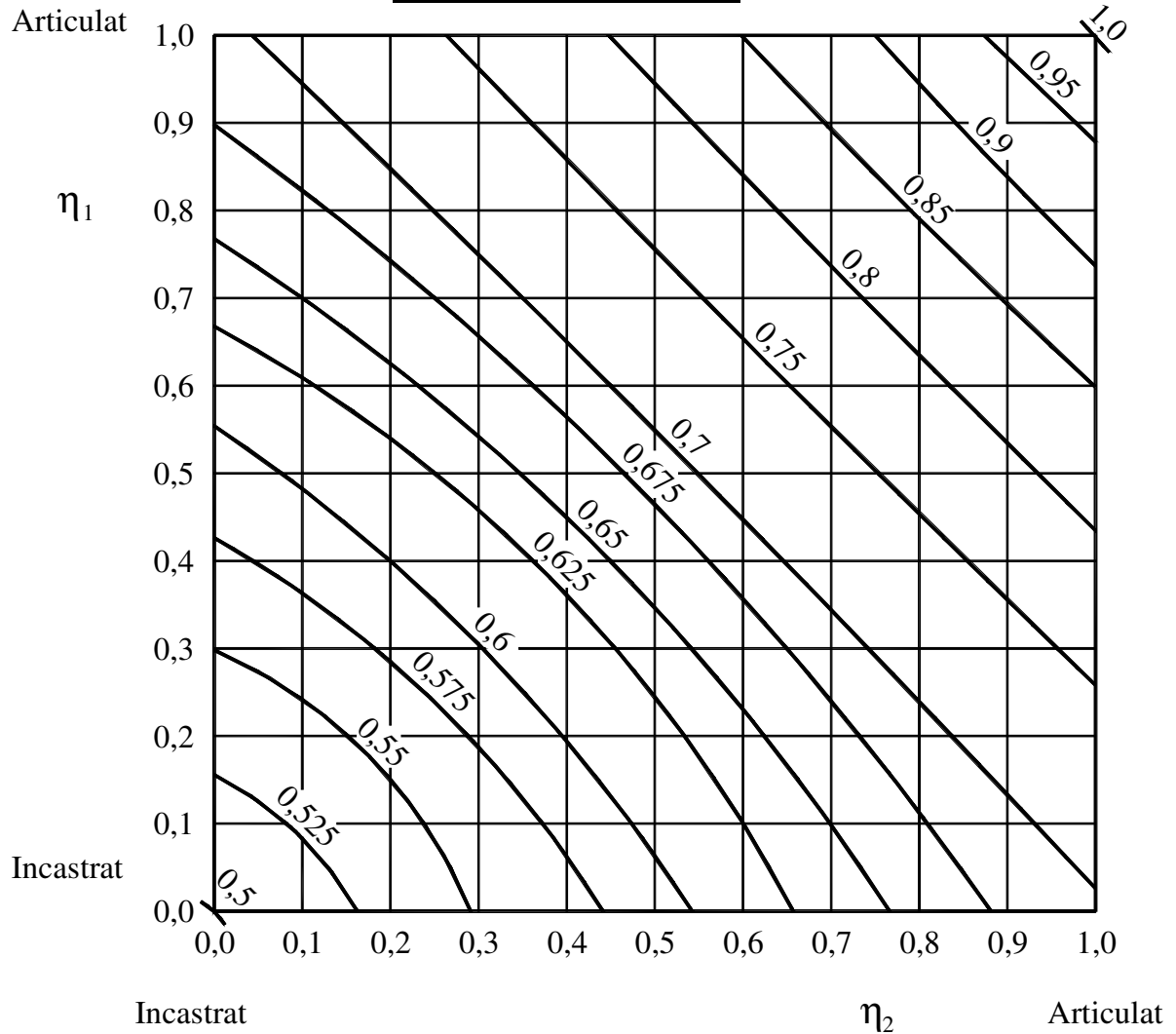
$$\frac{l_f}{L} = \left[\frac{1 + 0,145(\eta_1 + \eta_2) - 0,265\eta_1\eta_2}{2 - 0,364(\eta_1 + \eta_2) - 0,247\eta_1\eta_2} \right] \quad (\text{F.3})$$

Cadre cu noduri deplasabile:

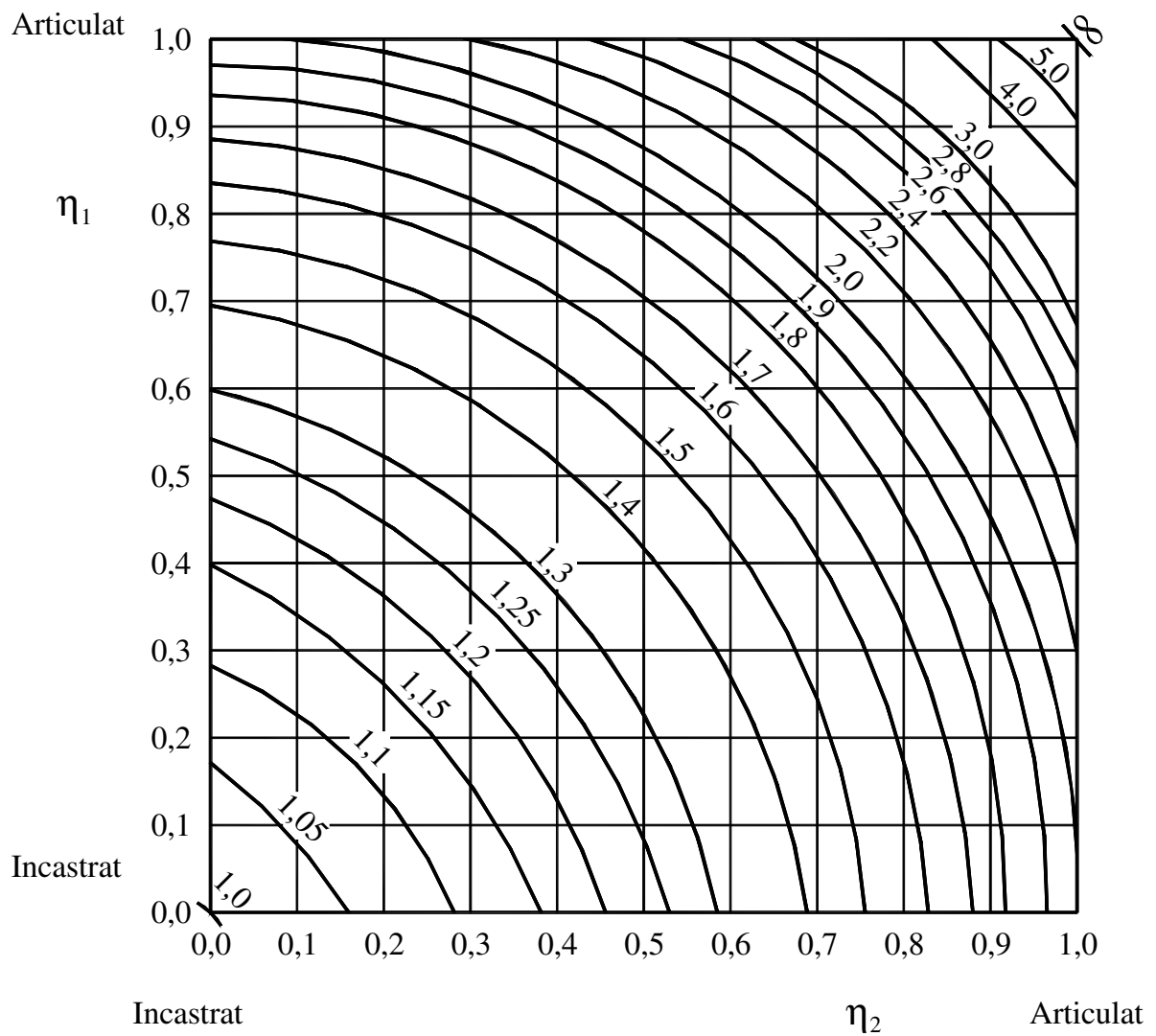
$$\frac{l_f}{L} = \left[\frac{1 - 0,2(\eta_1 + \eta_2) - 0,12\eta_1\eta_2}{1 - 0,8(\eta_1 + \eta_2) + 0,60\eta_1\eta_2} \right]^{0.5} \quad (\text{F.4})$$

(1) O structură poate fi considerată cu noduri fixe în cazul în care sistemul de contravântuire reduce deplasările orizontale cu cel puțin 80%.

Diagramele WOOD



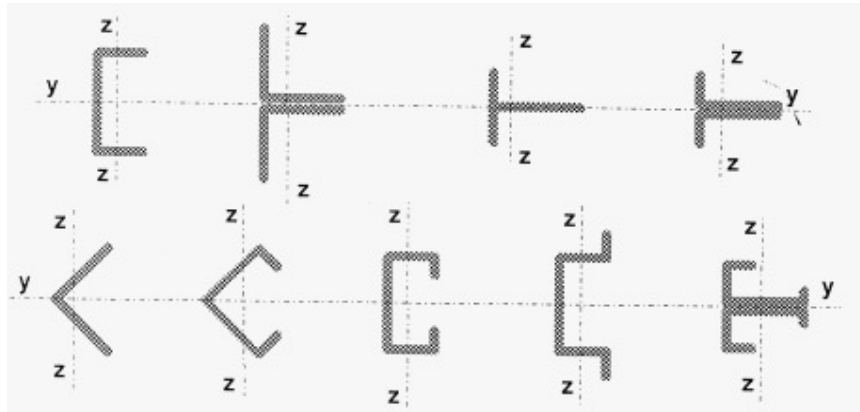
Raportul l_f/L dintre lungimea de flambaj și lungimea teoretică a unui stâlp dintr-un cadru cu noduri fixe



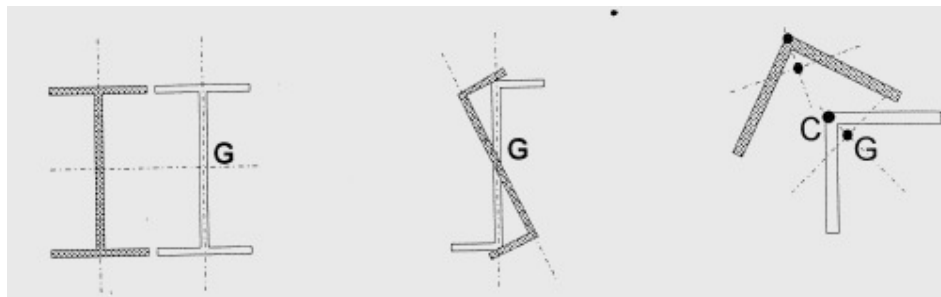
Raportul l_f/L dintre lungimea de flambaj și lungimea teoretică a unui stâlp dintr-un cadru cu noduri deplasabile

FLAMBAJUL PRIN INCOVOIERE-RASUCIRE (bare comprimate)

- Axele cu o singura axa de simetrie isi pot pierde stabilitatea prin incovoiere-rasucire.



- Chiar si barele cu sectiunea dublu-simetrice, datorita imperfeciunilor isi pot pierde stabilitatea prin incovoiere-rasucire.
- Flambajul prin incovoiere-rasucire (FT) este o combinatie intre flambajul prin incovoiere (F) si flambajul prin rasucire (T).



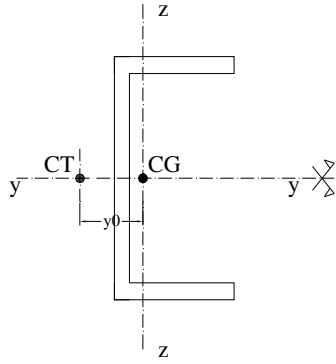
(F)

(T)

(FT)

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left(G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{L_T^2} \right) \quad (1)$$

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2\beta} \left[(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4\beta N_{cr,y} N_{cr,T}} \right] \quad (2)$$



$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_y^2} \quad (3)$$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 \quad (4)$$

$$\beta = 1 - (y_0^2 / i_0^2)^2 \quad (5)$$

GI_t = rigiditatea la torsiune

GI_w = rigiditatea la rasucire
impiedecata.

$L_T = \mu_T L$: lungimea de flambaj la
rasucire.

- rasucire cu deplasare libera la capete : $\mu_T = 1$
- rasucire cu deplasare impiedecata la capete : $\mu_T = 0.5$
- rasucire cu deplasare libera/incastrata la capete : $\mu_T = 0.7$

Verificarea se face cu aceleasi formule ca si la flambajul prin incovoiere, dar cu $\bar{\lambda}_{FT}$ in loc de $\bar{\lambda}$.

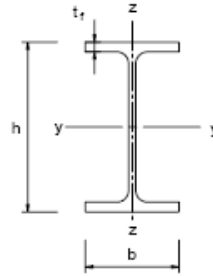
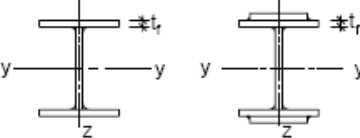

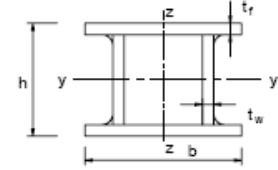
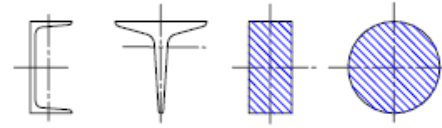
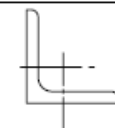
$$\bar{\lambda}_{FT} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \text{ ptr sectiuni de clasa 1,2,3} \quad (6)$$

$$\bar{\lambda}_{FT} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \text{ ptr sectiuni de clasa 4} \quad (7)$$

$$N_{cr} = N_{cr,FT} \text{ dar } N_{cr} < N_{cr,FT} \quad (8)$$

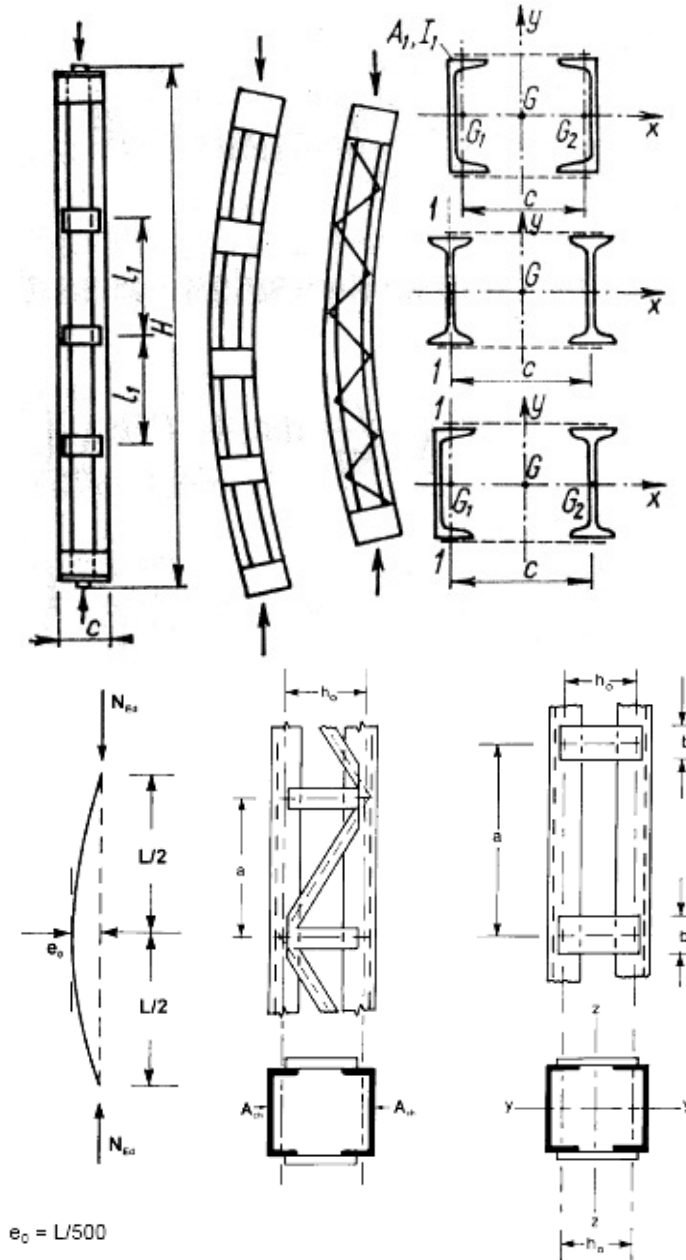
Curba de flambaj se alege in functie de forma sectiunilor transversale, dar se considera in raport cu axa Z.

Tabelul 6.2- Alegerea curbei de flambaj pentru o secțiune transversală.

Secțiune transversală	Limite	Flambaj după axa	Curbă de flambaj		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Profile laminate 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d d	c c
Secțiuni I-sudate 	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	c d	
Secțiuni tubulare 	finisate la cald	oricare	a	a ₀	
	formate la rece	oricare	c	c	
Cheoane sudate 	în general	oricare	b	b	
	grosime pereti: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	oricare	c	c	
Secțiuni U-, T și secțiuni pline 		oricare	c	c	
Cornier 		oricare	b	b	

FLAMBAJUL BARELOR CU SECTIUNE COMPUSA SOLICITATE LA COMPRESIUNE

- Bare cu sectiune compuse din elemente apropiate
- Bare cu sectiune compusa din elemente indepartate.
 - Solidarizate cu zabrele (zabrelute)
 - Solidarizate cu placute



In cazul acestor elemente structurale (de regula stalpi cu sectiune compusa), deformatiile din forta taietoare in elementele de solidarizare sunt importante si nu pot fi neglijate.

- se reduce rigiditatea la incovoiere

- influențează (reducând) forța critică "capabilă" a barei compuse, $N_{cr,comp}$.

PRINCIPIUL:

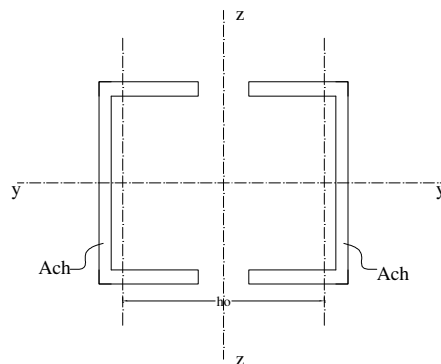
$$N_{cr,comp} = \frac{1}{\frac{1}{N_{cr}} + \frac{1}{S_v}} = N_{cr} \frac{1}{1 + \frac{N_{cr}}{S_v}} \quad (9)$$

N_{cr} = forța critică Euler, calculate neglijând forfecarea.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2}$$

I_{eff} = momentul de inerție eficace calculate într-o primă aproximație.

$$I_{eff} = 0.5A_{ch}h_0^2$$

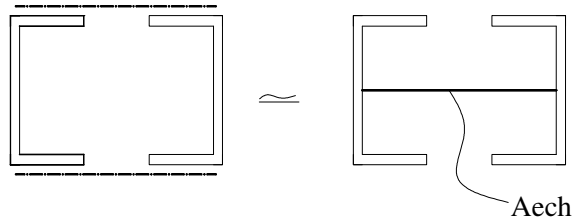


S_v = rigiditatea la forfecare a sistemului de solidarizare, cu zăbrele sau placute.

$$S_v = G * A_{ch}$$

G = modul de elasticitate transversal

A_{ch} = aria inimii pline echivalente a stalpului.



Observație :

In general $S_v \gg N_{cr} \rightarrow N_{cr}/S_v \ll 1 \rightarrow N_{cr,comp} \approx N_{cr}$.

6.4 Bare compuse uniforme solicitate la compresiune concentrică

6.4.1 Generalități

(1) În general barele compuse cu secțiune uniformă, solicitate la compresiune concentrică și articulate la extremități trebuie verificate după modelul de mai jos, a se vedea figura 6.7.

1. Bara poate fi considerată ca un stâlp având o imperfecțiune în arc $e_0 = \frac{L}{500}$

2. Deformațiile elastice ale zăbrelelor sau plăcuțelor de solidarizare, a se vedea figura 6.7, pot fi luate în considerare printr-o rigiditate la forfecare continuă S_V a stâlpului.

NOTĂ - Pentru alte legături la extremități, pot fi efectuate modificări corespunzătoare.

(2) Modelul barei compuse cu secțiune constantă supusă la compresiune concentrică se aplică atunci când,

76

1. zăbrelele sau plăcuțele de solidarizare alcătuiesc în lungul barei compuse panouri identice cu ramuri paralele
2. numărul de panouri în bara compusă este de minimum trei.

NOTĂ - Aceasta permite presupunerea unei structuri ordonate ale cărei elemente structurale discrete pot fi considerate ca un mediu continuu.

(3) Procedeele de calcul se aplică barelor compuse, cu zăbrele dispuse după două direcții, a se vedea figura 6.8.

(4) Ramurile pot fi bare cu secțiune plină sau pot, chiar ele, să aibă zăbrele sau plăcuțe de solidarizare în plan perpendicular.

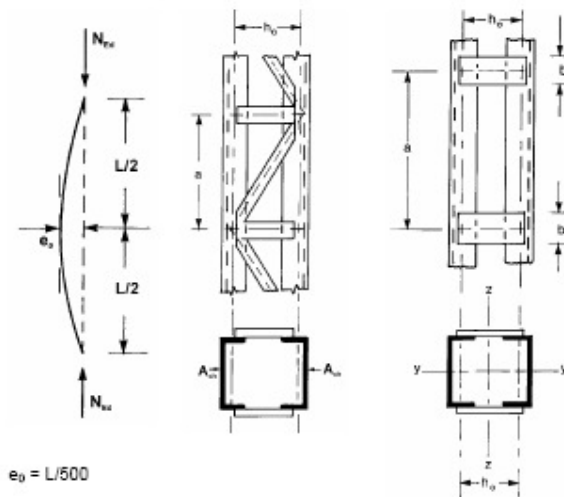


Figura 6.7 - Stâlpi cu secțiune compusă constantă cu zăbrele sau plăcuțe de solidarizare

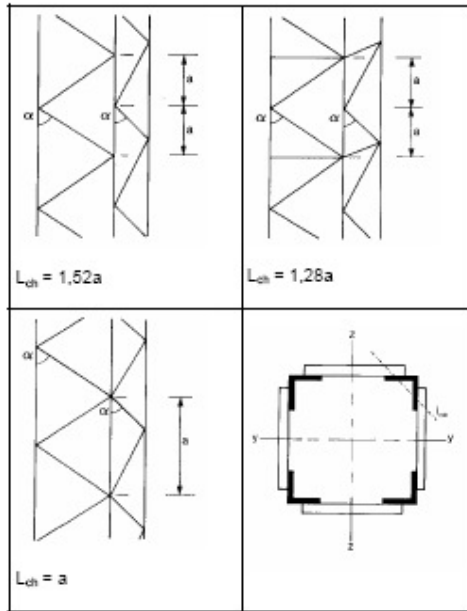


Figura .6 - Zăbrele pe patru laturi lungimea de flambaj L_{ch} a ramurilor

(5) Trebuie efectuată verificarea ramurilor la efortul axial de calcul $N_{ch,Ed}$ rezultând din efortul de compresiune N_{Ed} și din momentul M_{Ed} acționând la jumătatea lungimii barei compuse.

(6) În cazul unei bare alcătuite din două ramuri identice, efortul de calcul $N_{ch,Ed}$ trebuie determinat astfel:

$$N_{ch,Ed} = 0,5N_{Ed} + \frac{M_{Ed}h_0A_{ch}}{2I_{eff}} \quad (6.69)$$

în care
$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_y}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2}, \text{ este efortul critic eficace în bara compusă}$$

N_{Ed} este valoarea de calcul a efortului de compresiune care acționează în bara compusă

M_{Ed}^I este valoarea de calcul a momentului de încovoiere maxim, care acționează la jumătatea lungimii barei compuse, luând în considerare efectele de ordinul doi

M_{Ed}^I este valoarea de calcul a momentului de încovoiere maxim, care acționează la jumătatea lungimii barei compuse, fără a lua în considerare efectele de ordinul doi

h_0 este distanța între centrele de greutate ale ramurilor

A_{ch} este aria secțiunii transversale a unei ramuri

I_{eff} este momentul de inerție efectiv al barei compuse, a se vedea 6.4.2 și 6.4.3

S_V este rigiditatea la forfecare a modulelor de zăbrele sau de plăcuțe de solidarizare, a se vedea 6.4.2 și 6.4.3.

(7) De regulă, verificarea zăbrelelor barelor compuse cu zăbrele sau verificarea pentru eforturile care rezultă din efectul de cadru în barele compuse cu plăcuțe de solidarizare, trebuie făcută în panourile de la extremitățile barei, pornind de la forța tăietoare globală V_{Ed} , care acționează în bara compusă și se determină prin:

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L} \quad (6.70)$$

6.4.2 Bare comprimate cu zăbrele

6.4.2.1 Rezistența elementelor componente ale barelor comprimate cu zăbrele

(1) Ramurile și diagonalele comprimate ale barei compuse trebuie verificate la flambaj.

NOTĂ - Momentele secundare se pot neglija.

(2) Verificarea la flambaj a ramurilor trebuie efectuată astfel:

$$\frac{N_{d,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.71)$$

în care $N_{d,Ed}$ este valoarea de calcul a efortului de compresiune în ramură, care acționează la jumătatea lungimii barei compuse conform 6.4.1(6)

și $N_{b,Rd}$ este valoarea de calcul a rezistenței ramurii la flambaj luând lungimea de flambaj L_{ch} din figura 6.8.

(3) Rigiditatea la forfecare S_V a zăbrelelor trebuie luată din figura 6.9.

(4) Momentul de inerție la încovoiere al barelor compuse cu zăbrele se ia egal cu:

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch} \quad (6.72)$$

System			
S _v	$\frac{nEA_d ah_0^2}{2d^3}$	$\frac{nEA_d ah_0^2}{d^3}$	$\frac{nEA_d ah_0^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$
<p>n - numărul planurilor de zăbrele A_d și A_v - se referă la aria secțiunii zăbrelelor</p>			

Figura 6.9 - Rigiditatea la forfecare a zăbrelelor barelor compuse

6.4.2.2 Dispoziții constructive

- (1) Zăbrelele în V situate pe cele două fețe opuse ale barei compuse, trebuie dispuse în corespondență, conform figurii 6.10(a), adică astfel încât să aibă o umbră unică.
- (2) În cazul în care zăbrelele în V situate pe cele două fețe opuse ale barei compuse sunt situate în opoziție, conform figurii 6.10(b), se impune să se ia în considerare în calculul barei compuse a efectului de torsiune care rezultă.
- (3) Trebuie să se asigure dispunerea de panouri de legătură la extremitățile sistemelor de zăbrele, cât și în locurile unde zăbrelele sunt întrerupte și la nivelul îmbinărilor cu alte bare.

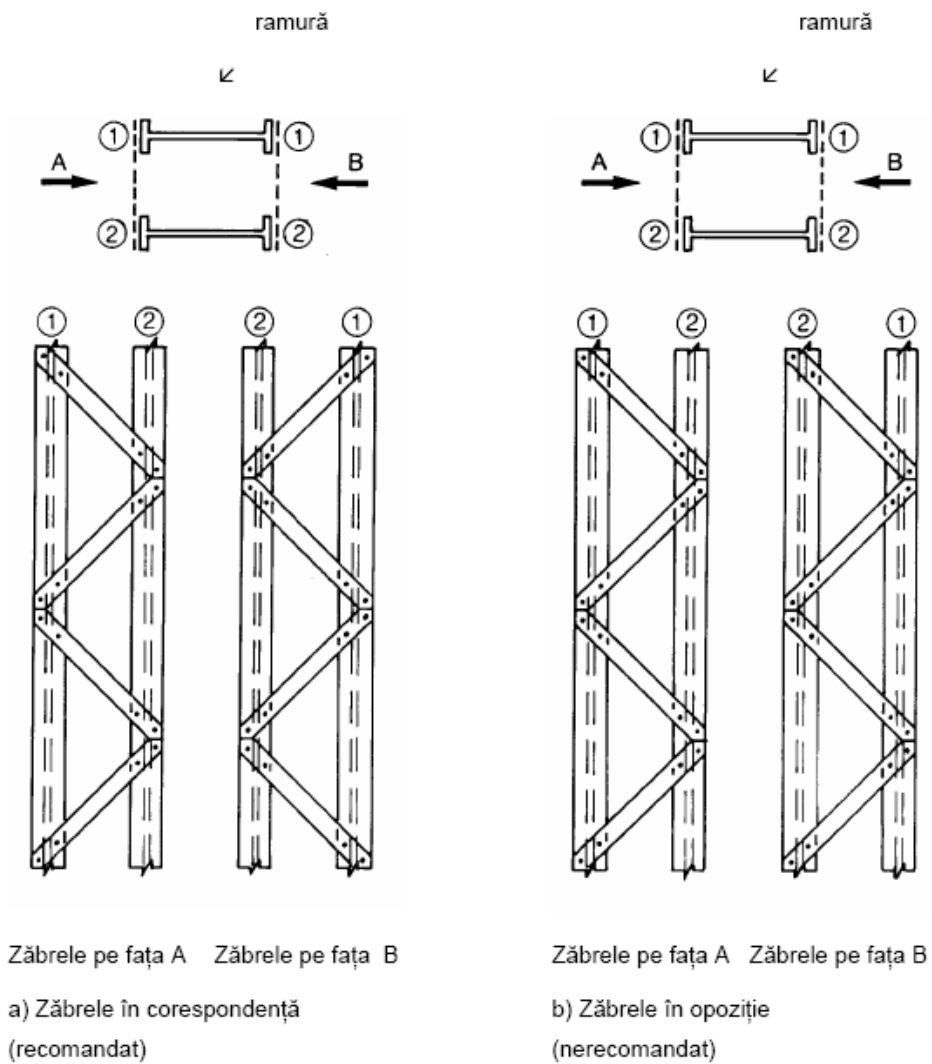


Figura 6.10- Zăbrele în V dispuse pe fețele opuse ale barelor compuse, cu două planuri paralele, prevăzute cu zăbrele

3.4.3 Bare comprimate cu plăcuțe de solidarizare

3.4.3.1 Rezistența elementelor componente ale barelor comprimate cu plăcuțe de solidarizare

(1) Se impune verificarea în raport cu solicitările reale, conform figurii 6.11, a rezistenței ramurilor și plăcuțelor de solidarizare, ca și a îmbinărilor acestora cu ramurile atât într-un panou de capăt cât și într-un panou de la mijlocul lungimii barei.

VOTĂ - Pentru simplificare, eforturile maxime $N_{01,Ed}$ în ramuri pot fi combinate cu efortul de forfecare maxim V_{Ed} .

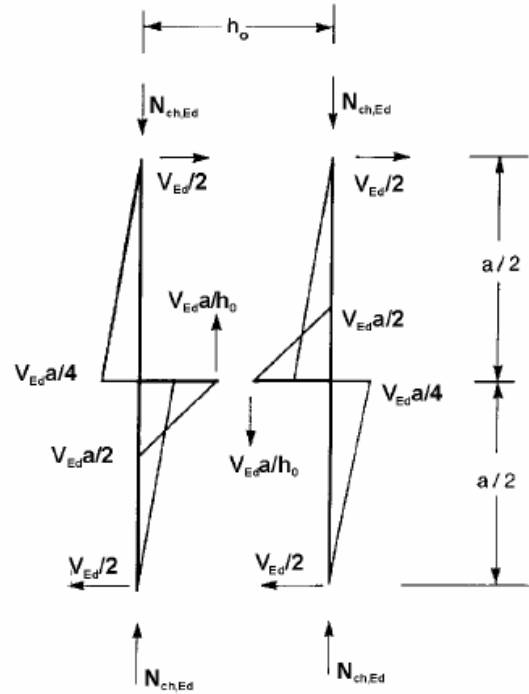


Figura 6.11 - Solicitări care acționează într-un panou de capăt al barei compuse cu plăcuțe de solidarizare

- (2) Rigiditatea la forfecare S_V trebuie calculată astfel:

$$S_V = \frac{24EI_{ch}}{a^2 \left[1 + \frac{2I_{ch} \cdot h_0}{nI_b \cdot a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2} \quad (6.73)$$

- (3) Momentele de inerție la încovoiere ale barelor compuse cu plăcuțe de solidarizare pot fi calculate astfel:

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch} \quad (6.74)$$

în care I_{ch} = moment de inerție la încovoiere al unei ramuri în plan

I_b = moment de inerție la încovoiere al plăcuței de solidarizare în plan

μ = factor de eficacitate luat din tabelul 6.8.

n = numărul planurilor cu plăcuțe

Tabelul 6.8 - Factor de eficacitate μ

Criteriu	Factor de eficacitate μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0
unde $\lambda = \frac{L}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$; $I_1 = 0,5h_0^2A_{ch} + 2I_{ch}$	

6.4.3.2 Detalii constructive

- (1) Trebuie amplasate plăcuțe la extremitățile unei bare compuse.
- (2) Când la barele compuse, plăcuțele de solidarizare sunt dispuse în planuri paralele, trebuie poziționate pe cele două fețe paralele, față în față.
- (3) Trebuie asigurată amplasarea de plăcuțe în punctele intermediare unde sunt aplicate încărcări sau unde este prevăzută o legătură transversală.

6.4.4 Bare compuse din ramuri puțin depărtate

- (1) În cazul barelor comprimate compuse ale căror ramuri sunt în contact sau sunt puțin depărtate și legate cu fururi, a se vedea figura 6.12, sau ale căror ramuri sunt corniere dispuse în cruce și legate prin perechi de plăcuțe, ele însăși dispuse în cruce, a se vedea figura 6.13 trebuie asigurată verificarea la flambaj ca pentru o bară cu secțiune unitară, omogenă, neglijând efectul rigidității la forfecare ($S_V = \infty$), cu condiția respectării distanței maxime dintre plăcuțe, conform tabelului 6.9.

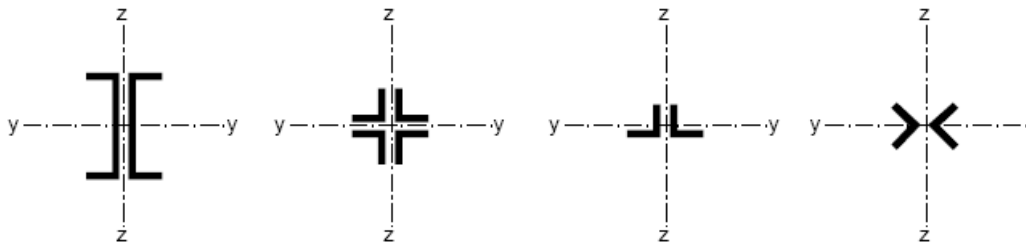


Figura 6.12 - Bare compuse din ramuri puțin depărtate

Tabelul 6.9 - Distanțe maxime între elementele de legătură pentru barele compuse din ramuri puțin depărtate sau din corniere dispuse în cruce

Tip de bară compusă	Distanța maximă între elementele de legătură *)
Ramuri conform figurii 6.12 legate cu șuruburi sau cordoane de sudură	15 i_{\min}
Ramuri conform figurii 6.13 legate prin perechi de plăcuțe	70 i_{\min}
*) distanța între centrele plăcuțelor de solidarizare i_{\min} este raza de girație minimă a unei ramuri sau cornier	

(2) Forțele tăietoare ce trebuie transmise prin elementele de legătură trebuie determinate conform indicațiilor de la 6.4.3.1(1).

(3) În cazul cornierelor cu aripi inegale, a se vedea figura 6.13, flambajul după axa y-y poate fi verificat considerând că:

$$i_y = \frac{i_0}{1,15} \quad (6.75)$$

în care i_0 este raza de girație minimă a barei comprimate.

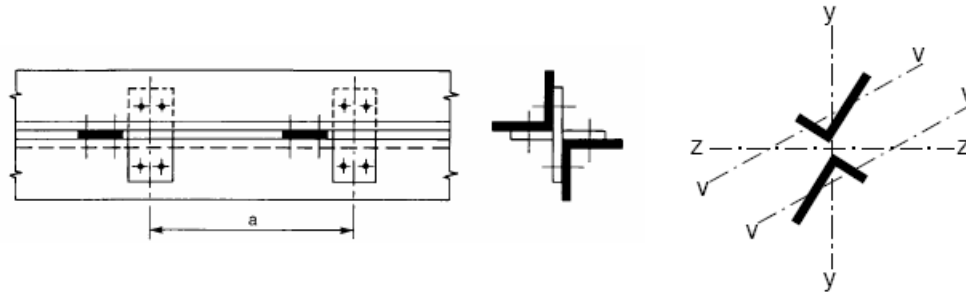


Figura 6.13 - Bare compuse din corniere dispuse în cruce legate prin perechi de plăcuțe în cruce