جَامعة
المَنارة
MANARA UNIVERSITY

Steel Structures 1
Sem. 2
2024-2025

أ.د. نايل محمد حسن

- ✓ المحاضرة الأولى: مفاهيم أساسية
- ✓ المحاضرة الثانية: مدخل إلى المنشآت الفولاذية
- ✓ المحاضرة الثالثة: العناصر الخاضعة للشد المركزي
- ✓ المحاضرة الرابعة: أمثلة عملية
- ✓ المحاضرة الخامسة: العناصر الخاضعة للضغط المركزي
- ✓ المحاضرة السادسة: العناصر الخاضعة للضغط المركزي (تتمة)

تصنيف المقطع Section Classification

المحاضرة السابعة: العناصر الخاضعة للضغط المركزي (تتمة)

تحنيب عناصر الضغط

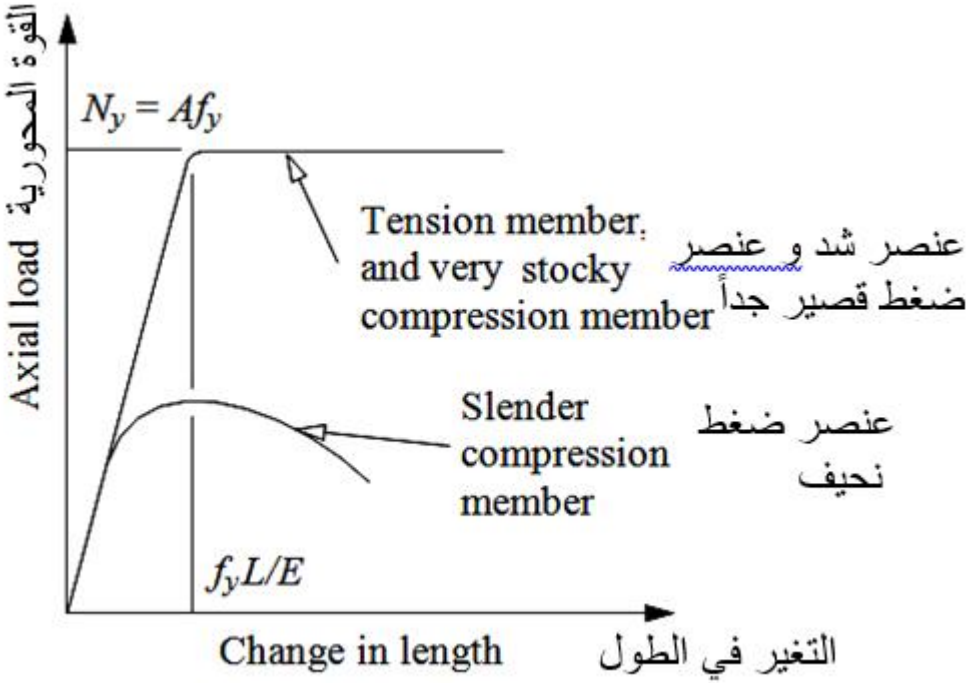
المحاضرة السابعة

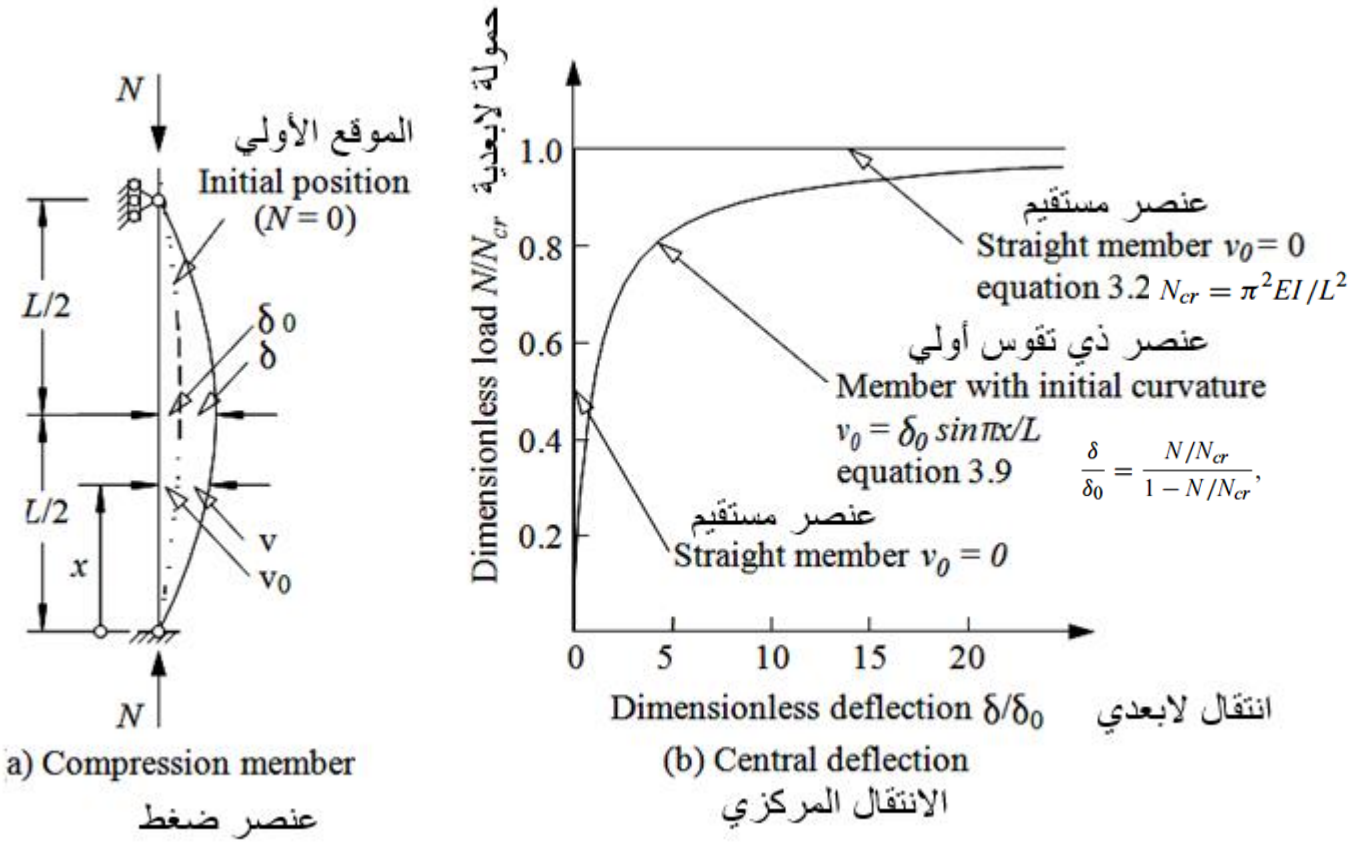
العناصر الخاضعة للضغط المركزي (تتمة)

تحنيب عناصر الضغط

عناصر الضغط المحملة مركزياً *Concentrically loaded*

- تسلك عناصر الضغط القصيرة جداً (الممتلئة) stocky نفس الطريقة التي تسلكها العناصر المشدودة حتى تبدأ المادة بالسيلان (التلدن) عند حمولة انهيار $N_y=Af_y$.
- تتناقص مقاومة عنصر الضغط كلما زاد طوله،
- عناصر الشد المحملة مركزياً التي تكون مقاومتها مستقلة عن طولها.
- بالتالي، يمكن لمقاومة الضغط لعنصر نحيف جداً (نحيل) أن تكون أقل بكثير من مقاومته على الشد، كما هو مبين في الشكل





السلوك المرن لعنصر ضغط

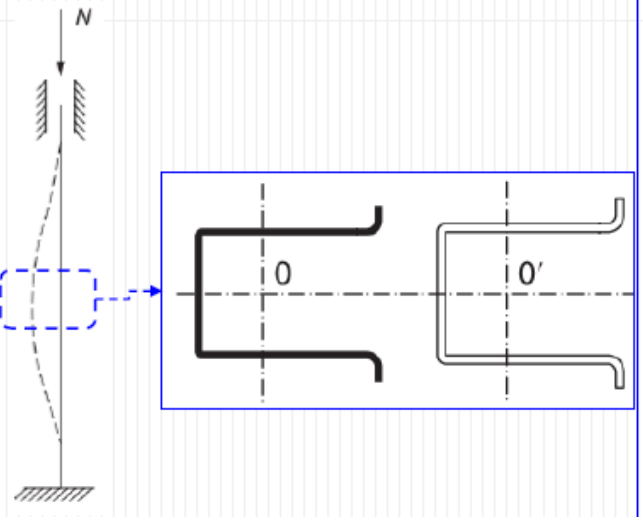
- ينتج هذا التناقص في المقاومة بواسطة فعل حمولة الضغط المطبقة N التي تسبب انعطاف العنصر مع تقوس (انحناء) أولي،
- يؤدي هذا الفعل في عنصر الشد إلى نقصان التقوس (الانحناء) الأولي، ولهذا السبب يهمل هذا التأثير عادة.
- على كل حال، يزداد التقوس والانتقال الجانبي مع الحمولة في عنصر الضغط،
- تتزايد أيضاً إجهادات الضغط على الجانب المقعر من العنصر حتى ينهار العنصر نتيجة الخضوع الزائد.
- يتعلق فعل الانعطاف هذا بنحافة العنصر،
- وبالتالي تتناقص مقاومة عنصر الضغط كلما ازداد طوله.

- نظرياً لايحدث الانعطاف في عنصر مرن مستقيم، حتى تصل القوة المطبقة لقيمة التحنيب المرنة N_{cr} (يشير كود EC3 لـ N_{cr} بالقوة الحرجة المرنة).
- يبدأ عنصر الضغط بالانتقال جانبياً عند هذه القوة
- تزداد هذه الانتقالات حتى يحدث الانهيار عند بداية الخضوع على الضغط.
- يسمى فعل الانتقال الجانبي المفاجئ هذا بتحنيب الانعطاف.
- تعطي حمولة التحنيب المرنة N_{cr} مقياس لنحافة عنصر الضغط، .
- بينما تعطي حمولة الانهيار N_y مؤشر لمقاومته على الخضوع.
- يناقش هذا الفصل تأثيرات حمولة التحنيب المرن وحمولة الانهيار على سلوك عناصر الضغط المحملة مركزياً وعلاقتها بالتصميم حسب كود EC3

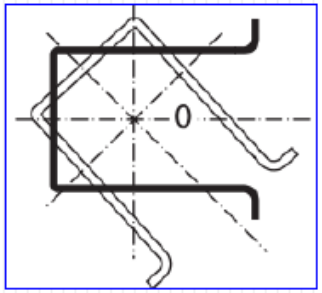
يمكن ان تحدث ظاهرة عدم الاستقرار او التحنيب باحدى حالات السلوك التالية:

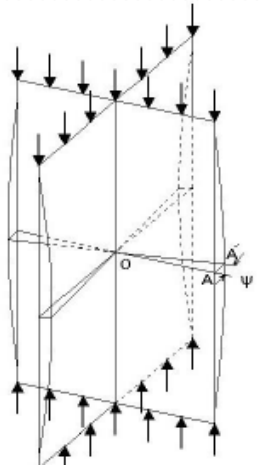
- تحنيب انعطافي **Flexural buckling**
- تحنيب فتلي **Torsional buckling**
- تحنيب فتلي انعطافي **Flexural-torsional buckling**

Compression members having typical I- or H-shaped cross-section with two axes of symmetry are generally interested by flexural buckling

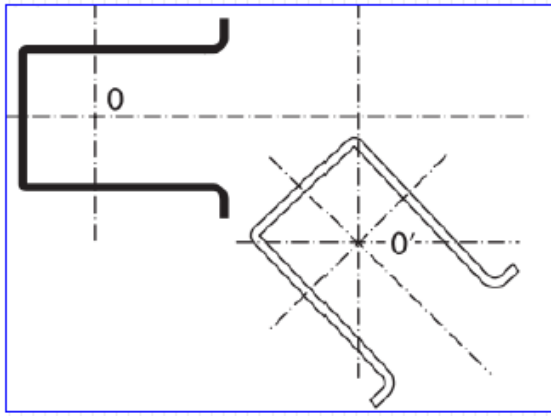


Cruciform sections, T-sections, angles and, in general, all cross-sectional shapes in which all the elements converge into a single point, are generally sensitive to torsional buckling phenomena.





Cross-sections with one axis of symmetry are prone to flexural-torsional buckling in many cases instead of the torsional one, owing to the fact that both cross-sectional centroid and shear center lie on the axis of symmetry but are often not coincident.



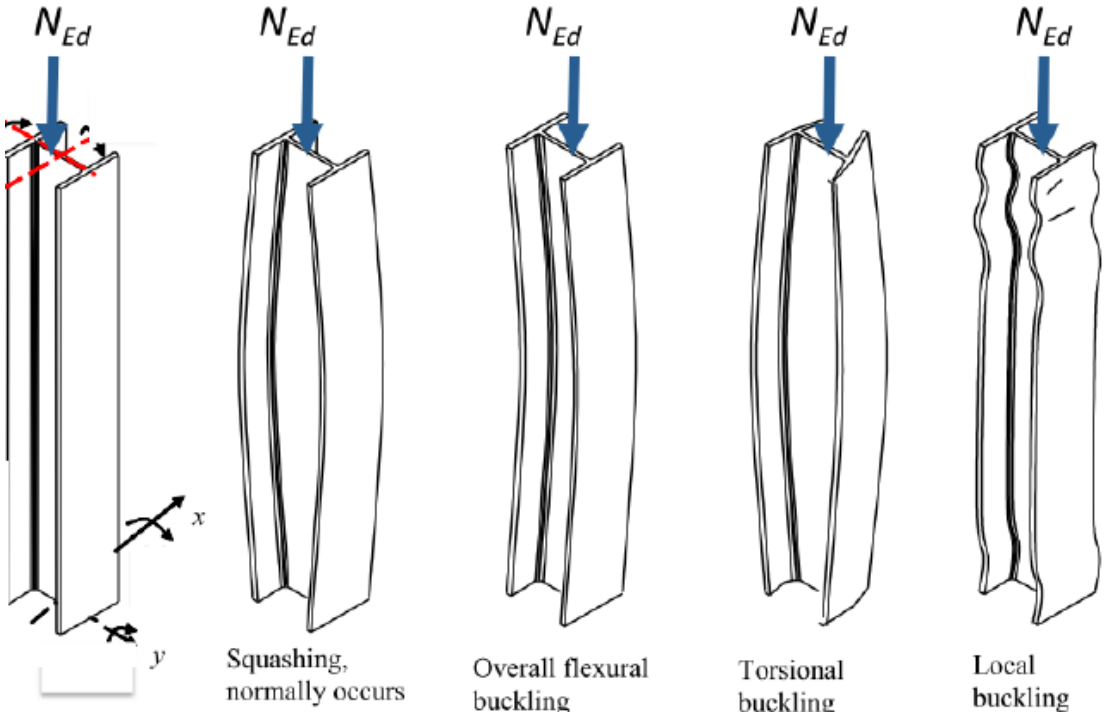
Buckling of straight members تحنيب العناصر المستقيمة

تخضع عناصر الضغط لـ
- ضغط محوري فقط
- بدون انعطاف

تخضع الأعمدةعمليا لـ
- لامركزية الاحمال المحورية
- القوى العرضية

خلال التعامل مع الاعمدة سيتم التفريق بين
- الاعمدة القصيرة و
- الاعمدة النحيفة

	Slender column $\bar{\lambda}$> 0.2
Cross-section Resistance check, $N_{c,Rd}$	✓
Buckling Resistance Check, $N_{b,Rd}$	✓



Buckling of straight members تحنيب العناصر المستقيمة

تقسم الاعمدة إلى:

- الاعمدة القصيرة
- الاعمدة النحيفة

الخصائص الأساسية للاعمدة القصيرة

- نحافة منخفضة جدا
- لاتتاثر بالتحنيب الكلي

الخصائص الأساسية للاعمدة الطويلة

- نحافة عالية او عالية جدا
- تتاثر بالتحنيب الكلي

مقاومة الضغط للاعمدة القصيرة:

- يتم الحصول عليها من المقطع العرضي
- تتبع لتصنيف المقطع

Buckling of straight members تحنيب العناصر المستقيمة

يتم الحصول على المقاومة التصميمية لعنصر مضغوط يخضع لقوة مركزية N_{Ed} لمقطع معين بمقارنة الحمولة التصميمية الى قدرة التحمل المحورية $N_{C,Rd}$

$$N_{Ed} \le N_{c,Rd}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{cross-sections of class 1, 2 or 3:,}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{cross-sections of class 4}$$

حيث :

A: المساحة الكلية للمقطع

A_{eff}: المساحة الفعالة للمقطع

F_y: مقاومة الخضوع

$\gamma_{M0}=1$

تحدث ظاهرةعدم الاستقرار الموضعي عندما تكون قدرة التحمل المحورية للمقاطع العرضية منتمية للتصنيف الرابع Class4

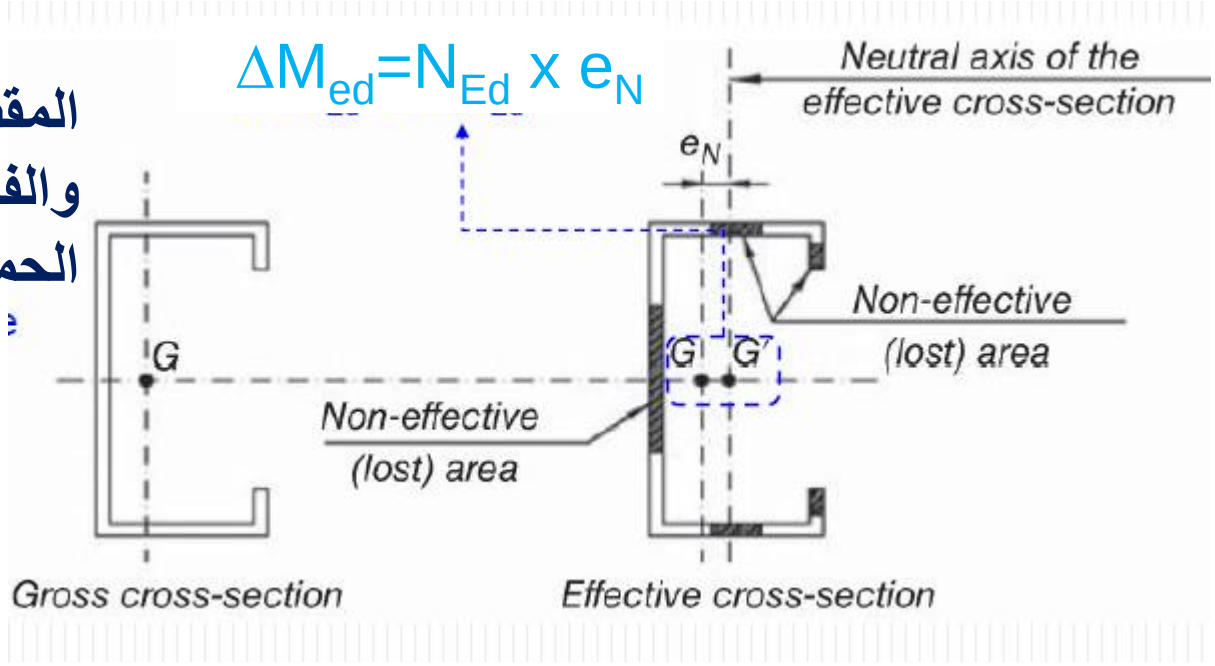
عندما يملك المقطع العرضي لعنصر الضغط محور تناظر واحد يمكن ان يظهر عزم انعطاف إضافي ΔM_{Ed} بسبب اللامركزية بين مركز المقطع العرضي الكلي (التي تكون القوة المحورية مطبقة عليه وبين مركز المقطع العرضي المقاوم (انظر الشريحة التالية)

المساحة الفعالة $A_{c,eff}$

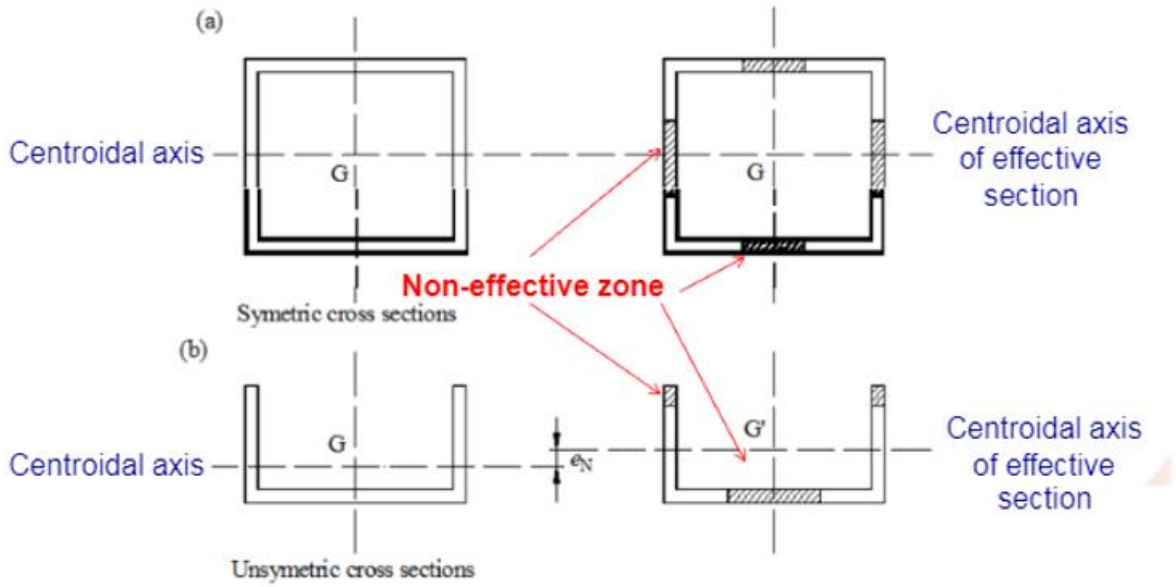
يفترض من اجل المقاطع العرضية من الصنف Class4 أن أجزاء من المساحة الخاضعة للضغط وبسبب ظاهرة عدم الاستقرار الموضعي لاتملك أي مقاومة (أي مساحة ضائعة).

نموذجيا، الأجزاء المضغوطة من المقاطع العرضية التي يجب اهمالها من اجل تحقيق المقاومة، هي الأجزاء القريبة للنهاية الحرة للجناح الخارجي outstand flange او الجزء المركزي من عنصر مضغوط داخلي.

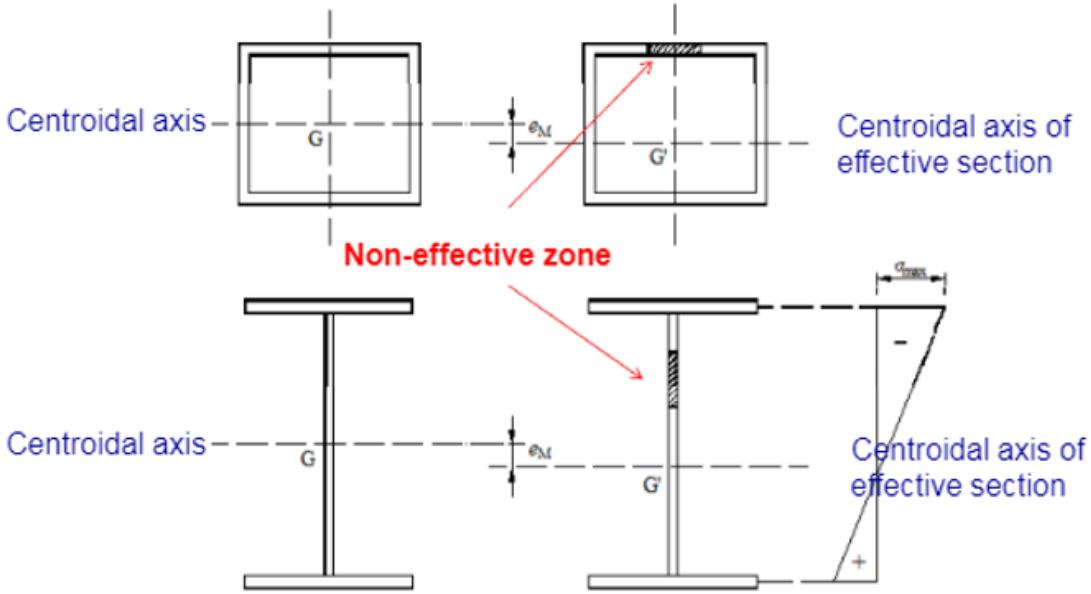
المقطع الكلي والفعال في حالة الحمولة المحورية



Y Class 4 cross-sections under axial compression



Y Class 4 cross-sections under bending moment



المساحة الفعالة

$A_{c,eff}$

المساحة الفعالة $A_{c,eff}$

من وجهة النظر التصميمية، من المهم تقدير المقطع العرضي الفعال (أي المقطع الكلي مطروحا منه كل الأجزاء الضائعة) حسب إجراءات التصميم الموصوفة في الكود الأوربي EN 1993-1-5،

(Design of steel structures –Part 1–5: Plated structural elements).

في حالة المقطع العرضي الدائري المفرغ من الصنف Class4، يتم الرجوع الى EN 1993-1-6

(Design of steel structures –Part 1–6: Strength and Stability of Shell Structures).

المساحة الفعالة $A_{c,eff}$

تحسب المساحة الفعالة للصفيحة المضغوطة A_{eff} كنسبة من المساحة الكلية A_g كما يلي:

$$A_{c,eff} = \rho A_c$$

يعرف عامل التخفيض ρ كما يلي:

Internal compression elements:

$$\rho = 1.0 \text{ if } \overline{\lambda_p} \le 0.673$$

$$\rho = \left[\overline{\lambda_p} - 0.055(3+\psi)\right] / \overline{\lambda_p}^2 \le 1 \text{ if } \overline{\lambda_p} > 0.673 \text{ and } (3+\psi) \ge 0$$

Outstand compression elements:

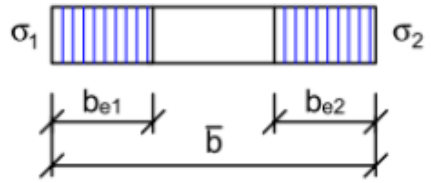
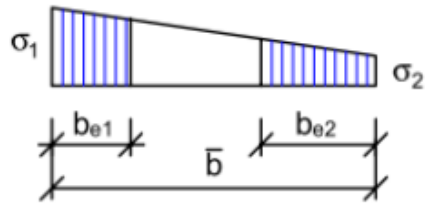
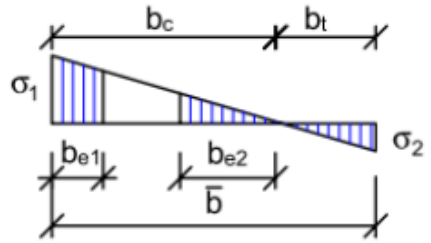
$$\rho = 1.0 \text{ if } \lambda_p \le 0.748$$

$$\rho = \left(\overline{\lambda_p} - 0.188\right) / \overline{\lambda_p}^2 \le 1 \text{ if } \overline{\lambda_p} > 0.748$$

$$\overline{\lambda_p} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28.4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}; \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y\left[\text{N/mm}^2\right]}}$$

المساحة الفعالة $A_{c,eff}$

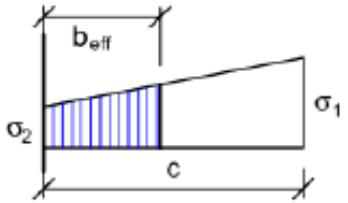
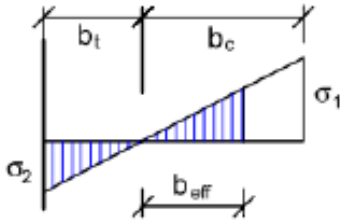
قواعد حساب العرض الفعال لعناصر الضغط الداخلية Internal

Stress distribution (compression positive)	Effective[p] width b_{eff}
	$\psi = 1$: $b_{eff} = \rho\ \bar{b}$ $b_{e1} = 0{,}5\ b_{eff}$ $\quad b_{e2} = 0{,}5\ b_{eff}$
	$1 > \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho\ \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5-\psi} b_{eff}$ $\quad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$
	$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho\ b_c = \rho\ \bar{b} / (1-\psi)$ $b_{e1} = 0{,}4\ b_{eff}$ $\quad b_{e2} = 0{,}6\ b_{eff}$

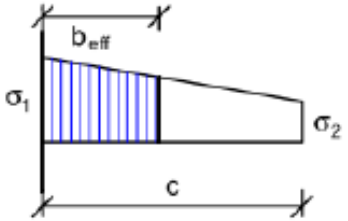
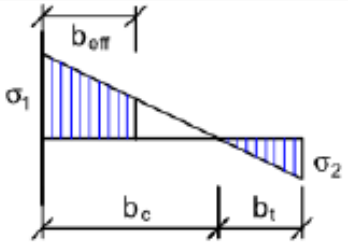
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Buckling factor k_σ	4,0	$8{,}2 / (1{,}05 + \psi)$	7,81	$7{,}81 - 6{,}29\psi + 9{,}78\psi^2$	23,9	$5{,}98\ (1 - \psi)^2$

المساحة الفعالة $A_{c,eff}$

قواعد حساب العرض الفعال لعناصر الضغط الخارجية Outstanding

Stress distribution (compression positive)	Effective width b_{eff}
	$1 > \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho\ c$
	$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho\ b_c = \rho\ c\ /\ (1-\psi)$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$
Buckling factor k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$

	$1 > \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho\ c$
	$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho\ b_c = \rho\ c\ /\ (1-\psi)$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Buckling factor k_σ	0,43	$0,578\ /\ (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

Summary ملخص

ملخص تصنيف المقطع العرضي Cross-section classification

I. اوجد قيمة fy من التجارب او الكود او مواصفات المنتج
II. احصل على ε من table 5.2
III. عوض قيمة ε لمعرفة حدود الصنف في table 5.2
IV. اعتمد الصنف الأقل من بين كل (الجناح الخارجي، الجسد في الانعطاف، والجسد في الضغط) للحصول على صنف المقطع الكلي. .

ملخص التحقق من مقاومة المقطع العرضي Cross-section resistance check

I. حدد قوة الضغط التصميمية N_{Ed}
II. اختر مقطع وحدد تصنيف المقطع
III. احسب $N_{c,Rd}$ من اجل التصانيف class1,2,3، والتصنيف class4 على الترتيب

class1,2,3 ⟵ $N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

class4 ⟵ $N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

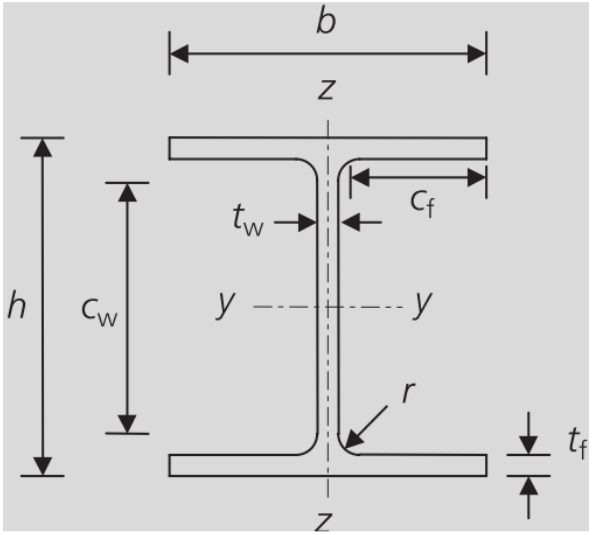
IV. نفذ التحقق من مقاومة المقطع العرضي

Worked Example: Example on cross-section resistance in compression

Example. A 254 x 254 x 73 UKC is to be used as a short ($\lambda \leq 0.2$) compression member.
Calculate the resistance of the cross-section in compression, assuming grade S355 steel

S 535 for $t \leq 40$mm
Material Properties:
f_y= 355 MPa
f_u= 510 MPa
E= 210 GPa

254 x 254 x 73 UKC
A= 9310mm2
h= 254.1mm
b= 254.6mm
t_w= 8.6mm
t_f= 14.2mm
r = 12.7mm



For a nominal material thickness (t_f= 14.2 mm and t_w= 8.6 mm) of less than or equal to 16 mm, the nominal value of yield strength f_y for grade S355 steel is found from EN 10025-2 to be 355 N/mm^2.

Worked Example: Example on cross-section resistance in compression

Solution[I]. Section classification

Step1.1: Identify the element type.

Flange is outstand and the web is Internal element

$$\text{outstand}\quad \frac{c}{t}=\frac{b-t_w-(2\cdot r)}{2\cdot t_f}=\frac{110.3}{14.2}=7.77$$

$$\text{Internal}\quad \frac{c}{t}=\frac{h-2\cdot t_f-(2\cdot r)}{t_w}=\frac{200.3}{8.6}=23.39$$

Step1.3: Evaluate the parameter ε.

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{235}{f_y}}=\sqrt{\frac{235}{355}}=0.81$$

254 x 254 x 73 UKC

A= 9310mm2

h= 254.1mm

b= 254.6mm

t_w= 8.6mm

t_f= 14.2mm

r = 12.7mm

S 535 for t ≤ 40mm

Material Properties:

f_y= 355 MPa

f_u= 510 MPa

E= 210 GPa

Worked Example: Example on cross-section resistance in compression

Step1.4: Determine class of the outstand element

$$\frac{c}{t} = 7.77 < 10\varepsilon = 8.14 \Rightarrow \text{Class 2}$$

Step1.5: Determine class of the internal element

$$\frac{c}{t} = 23.29 < 33\varepsilon = 26.85 \Rightarrow \text{Class 1}$$

Step1.6: Determine class of the cross section

The whole cross-section according to the least favorable classification is **CLASS 2**

Solution [II]. Cross-section compression resistance

Step2.1: Determine $N_{c,Rd}$.

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9310 \cdot 355_y}{1.00} \times 10^{-3} = 3305kN$$

254 x 254 x 73 UKC

A= 9310mm2

h= 254.1mm

b= 254.6mm

t_w= 8.6mm

t_f= 14.2mm

r = 12.7mm

S 535 for t ≤ 40mm

Material Properties:

f_y= 355 MPa

f_u= 510 MPa

E= 210 GPa

Worked Example2: checking a UB compression member

Problem. The 457 × 191 UB 82 compression member of S275 steel of Figure a,Check the adequacy of the member for a factored axial compressive load corresponding to a nominal dead load of 160 kN and a nominal imposed load of 230 kN.

S 275 for t ≤ 40mm

Material Properties:

f_y= 275 MPa

f_u= 430 MPa

E= 210 GPa

457 × 191 UB 82

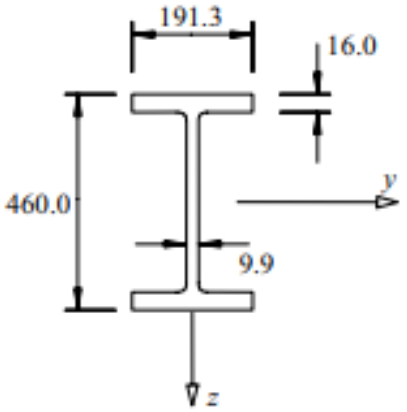
$I_z = 1871\ cm^4$

$A = 104\ cm^2$

$i_y = 18.8\ cm$

$i_z = 4.23\ cm$

$r = 10.2\ mm$

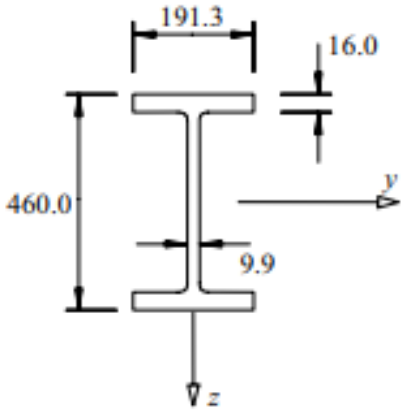


- Determine compressive design load

Factored axial load (Design Load) is

N_{Ed} = *(1.35 × 160) + (1.5 × 230) = 561 kN*

Solution[I]. Section classification



Identify the element type.

Flange is outstand and the web is Internal element

For S275 steel with $t_f = 16$ mm, $f_y = 275$ N/mm^2 5-2

$$\varepsilon = (235/275)^{0.5} = 0.924$$

$$c_f/(t_f\varepsilon) = [(191.3 - 9.9 - 2 \times 10.2)/2]/(16.0 \times 0.924) = 5.44 < 9$$

$$c_w = (460.0 - 2 \times 16.0 - 2 \times 10.2) = 407.6 \text{ mm} \quad \text{T5.2}$$

$$c_w/(t_w\varepsilon) = 407.6/(9.9 \times 0.924) = 44.5 > 42 \quad \text{T5.2}$$

and so the web is Class 4 (slender). T5.2

Effective area.

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28.4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{407.6/9.9}{28.4 \times 0.924 \times \sqrt{4.0}} = 0.784 \qquad \text{EC3-1-5 4.4(2)}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.055(3+\psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0.784 - 0.055(3+1)}{0.784^2} = 0.918 \qquad \text{EC3-1-5 4.4(2)}$$

$$d - d_{eff} = (1 - 0.918) \times 407.6 = 33.6 \text{ mm}$$ **Length of lost area (A_L) ,d_L=($d - d_{eff}$)**

$$A_{eff} = 104 \times 10^2 - 33.6 \times 9.9 = 10\,067 \text{ mm}^2$$ **$A_{eff} = A_C - A_L = A_C - d_L(t)$**

Solution [II]. Cross-section compression resistance

Step2.1: Determine $N_{c,Rd}$.

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10\,067 \times 275}{1.0} = 2768 \text{ kN} > 561 \text{ kN} = N_{Ed} \qquad 6.2.4(2)$$

⟹ **Section is O.K**

Homework I
cross-section resistance in compression

Example. A 305 x 305 x 97 UKC is to be used as a short ($\lambda \leq 0.2$) compression member.
Calculate the resistance of the cross-section in compression, assuming grade S275 steel

Homework II

checking a UB compression member

Problem. The 610 × 305 x 179 UB compression member of S355 steel, Check the adequacy of the member for a factored axial compressive load corresponding to a nominal dead load of 350 kN and a nominal imposed load of 330 kN.