المنشآت المعدنية

الفصل الصيفي

2024-2025

أ.د. نايل محمد حسن

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

المحاضرة 7-8: العناصر الخاضعة للضغط المركزي

تصنيف المقطع Section Classification

المحاضرة السادسة

العناصر الخاضعة للضغط المركزي (تتمة)

تصنيف المقطع Section Classification

اصطلاحات واساسيات

يستخدم الكود الأوربي مصطلحات تم اختيارها بعناية لتوضيح ولتسهيل الترجمة الى اللغات الأخرى. تتضمن المصطلحات الأساسية في الكود الأوربي مايلي:

“Actions” loads, imposed displacements, thermal strain

"أفعال" الحمولات، انتقالات مفروضة، تشوهات حرارية

“Effects” internal bending moments, axial forces etc.

"آثار" القوى الداخلية (عزوم الانعطاف، القوى المحورية....)

“Resistance” capacity of a structural element to resist bending moment, axial force, shear, etc.

"المقاومة" قدرة تحمل عنصر انشائي لمقاومة عزم الانعطاف، القوة المحورية، القص،.....

“Verification” check

"التحقيق" التأكد من

“Execution” construction – fabrication, erection

"التنفيذ" التشييد – التصنيع، التركيب

يستخدم الكود الأوربي الانشائي مصطلحات ISO للأدلة السفلية. عندما يكون هناك عدة ادلة يتم الصل بينها بفاصلة. نوضح تاليا اربع ادلة سفلية رئيسية وتعريفها

اصطلاحات واساسيات

Eurocode Subscript	Definition	Example
Ed	Design value of an effect القيمة التصميمية لأثر ما	M_{Ed} Design bending moment عزم الانعطاف التصميمي
Rd	Design resistance المقاومة التصميمية	MRd Design resistance for bending المقاومة التصميمية على الانعطاف
el	Elastic property خاصية المرونة	W_{el} Elastic section modulus عامل المقطع المرن
pl	Plastic property خاصية اللدونة	W_{pl} Plastic section modulus عامل المقطع اللدن

يستخدم الكود الأوربي الانشائي مصطلحات ISO للأدلة السفلية. عندما يكون هناك عدة ادلة يتم الصل بينها بفاصلة. نوضح تاليا اربع ادلة سفلية رئيسية وتعريفها

Standard Profile Sections انواع المقاطع القياسية

جَامعة المَنارة

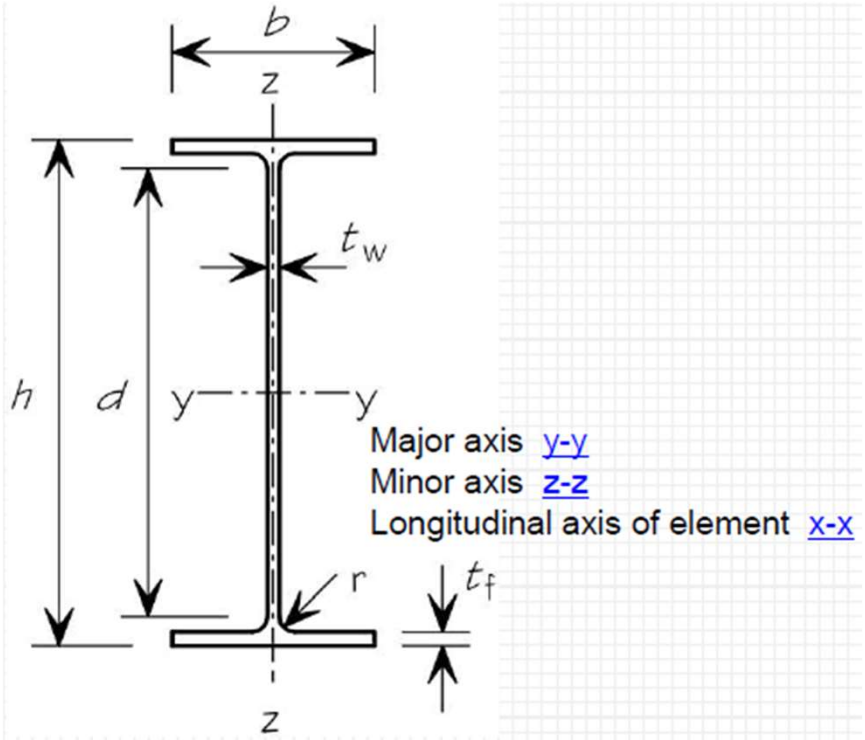
Available open rolled sections:

	Universal beams (UB) +
	Universal columns (UC) +
	Universal bearing piles (UBP) +
	Parallel flange channels (PFC) +
	Equal leg angles (L) +
	Unequal leg angles (L) +
	Back to back equal angles (L) +
	Back to back unequal leg angles (L) +
	Tees (T) split from UB +
	Tees (T) split from UC +

Available structural hollow sections:

	Hot-Finished Circular Hollow Sections +
	Hot-Finished Square Hollow Sections +
	Hot-Finished Rectangular Hollow Sections +
	Hot-Finished Elliptical Hollow Sections +
	Cold Formed Circular Hollow Sections +
	Cold Formed Square Hollow Sections +
	Cold Formed Rectangular Hollow Sections +

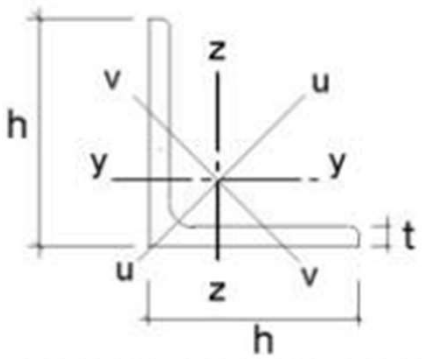
اصطلاحات واساسيات

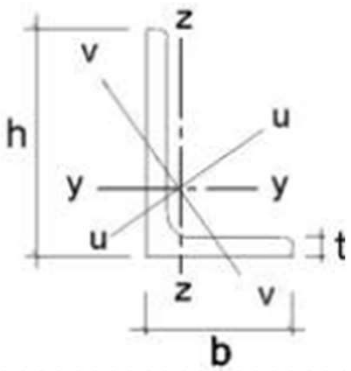


b	width of a cross section
h	depth of a cross section
d	depth of straight portion of a web
t_w	web thickness
t_f	flange thickness
r	radius of root fillet
r_1	radius of root fillet
r_2	toe radius

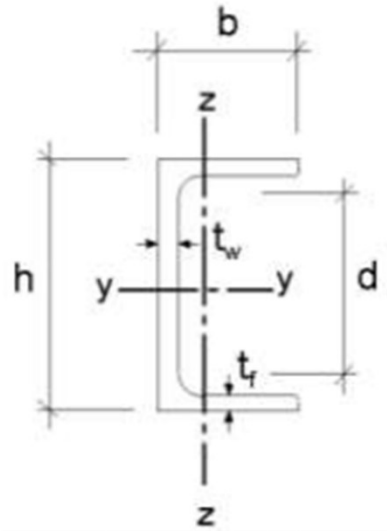
All rules in this Eurocode relate to principal axis properties, which are generally definedby the axes y-y and z-z.

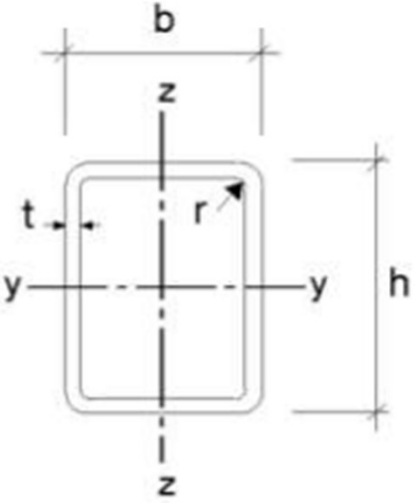
اصطلاحات واساسيات

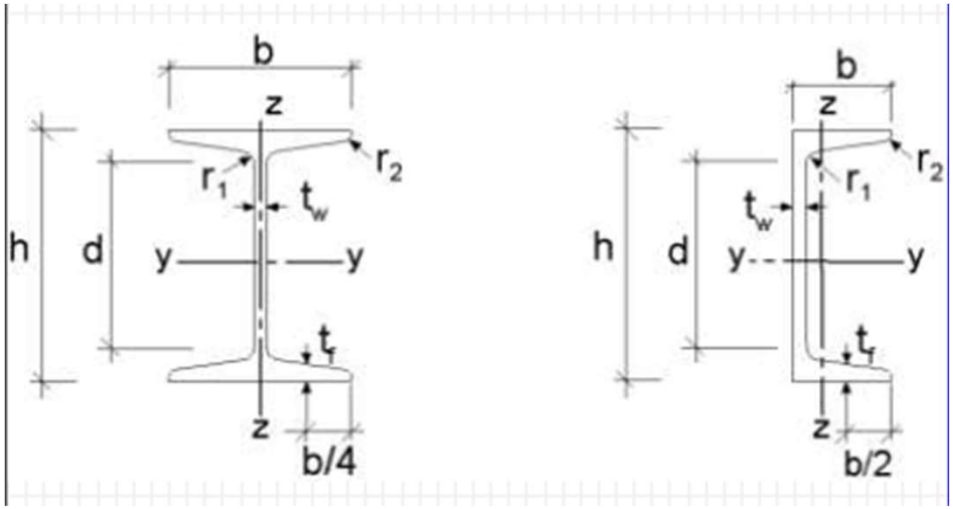


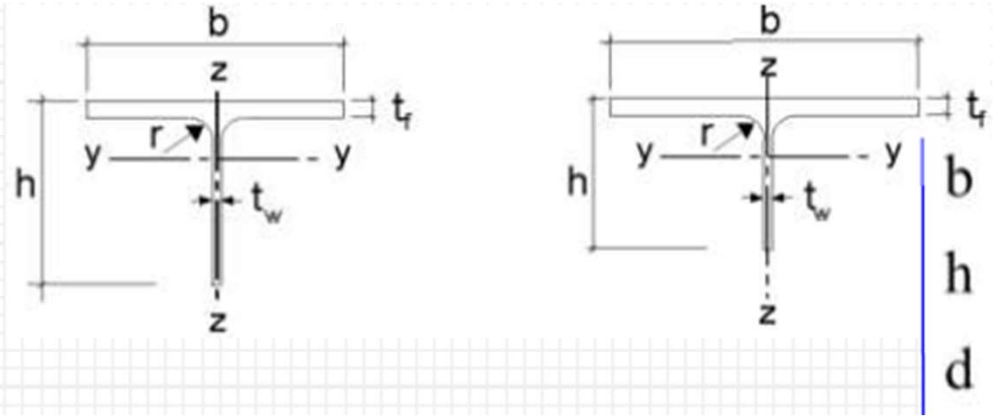


For sections such as angles the rules are defined by the axes u-u and v-v.









Basic of Design أساسيات التصميم

- يتبع تصميم المنشآت الفولاذية للقواعد العامة المعطاة في EN1990
- يجب اعتبار المتطلبات الأساسية في EN1990 القسم 2 عندما يتم استخدام التصميم حسب حالات الحدود بالتوافق مع طريقة العوامل الجزئية وتراكبات الاحمال المعطاة في EN1990 سوية مع الأفعال (الأحمال) المعطاة في EN1991

المقاومة التصميمية Design resistances

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

يطبق العامل الجزئي γ_M على قيم مميزة متنوعة للمقاومة كما يلي

- Resistance of cross-sections whatever the class is: γ_{M0} =1.0
- Resistance of members to instability assessed by member checks: γ_{M1}=1.0
- Resistance of cross-sections in tension to fracture: γ_{M2} =1.1

- مقاومة المقطع العرضي مهما كان الصنف: γ_{M0} =1.0
- مقاومة العنصر لعدم الاستقرار المقدر بواسطة تحقيقات العنصر: γ_{M1}=1.0
- مقاومة المقطع العرضي على الانهيار بالشد: γ_{M2} =1.1

Basic of Design أساسيات التصميم

Effects and Resistances

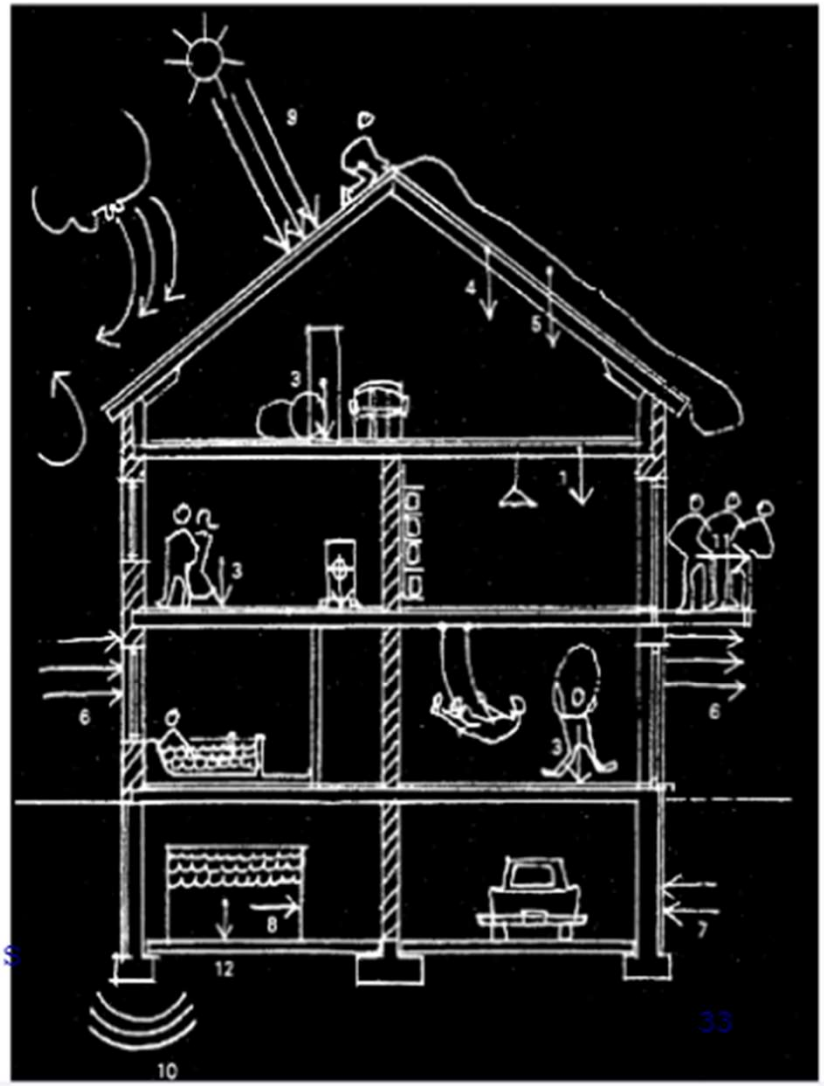
$$E_d \leq R_d$$

Effect of Actions:

Self-Load
Wind
Snow
Variable loads
Temperature
Fire

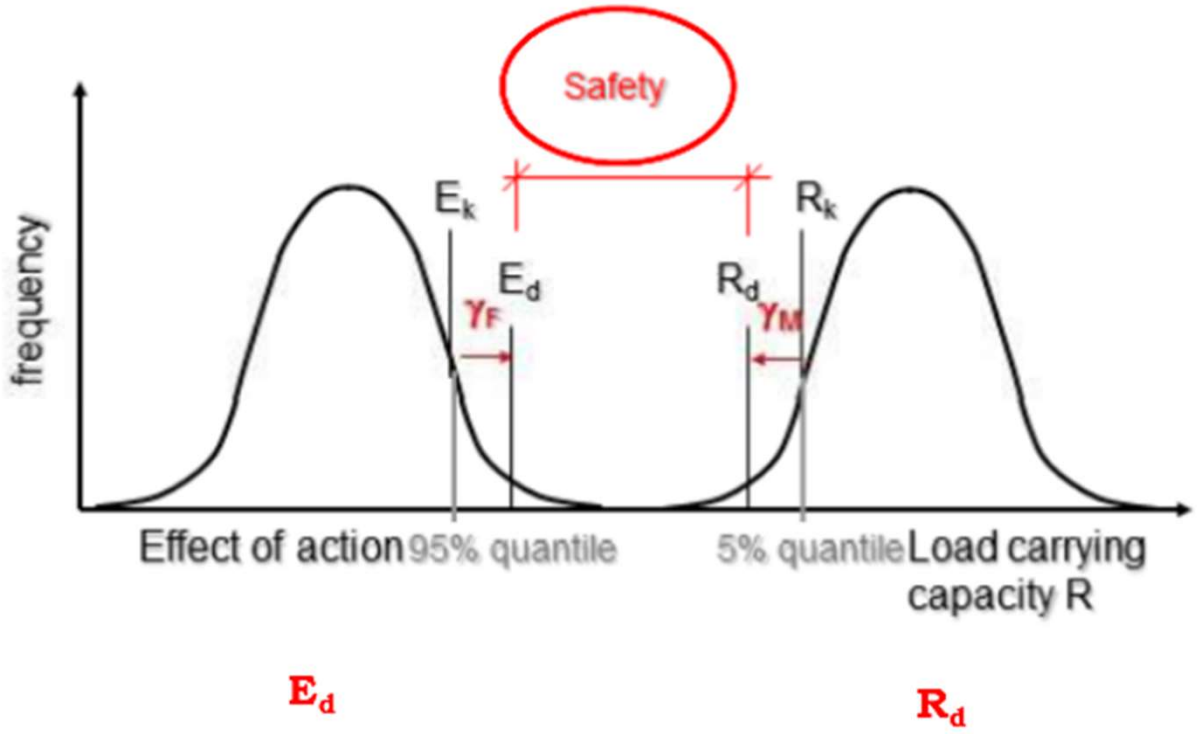
Resistance:

Structure
Structural Elements
Materials, E-Modulus etc.
cross sections, Area, Moment of Inertia



Basic of Design أساسيات التصميم

Structural Safety



Materials المواد

يصنف الكود الأوربي الفولاذ الانشائي من الدرجات S235 to S460

حسب المعاييرEN 10025, EN 10210 or EN10219

يحدد الكود الأوربي الخواص التالية للفولاذ الانشائي:

- Density (ρ)= 7850kg/m3
- Modulus of elasticity (E)
- Shear modulus (G)
- Poisson's ratio in elastic stage (v)
- Coefficient of linear thermal expansion (α)

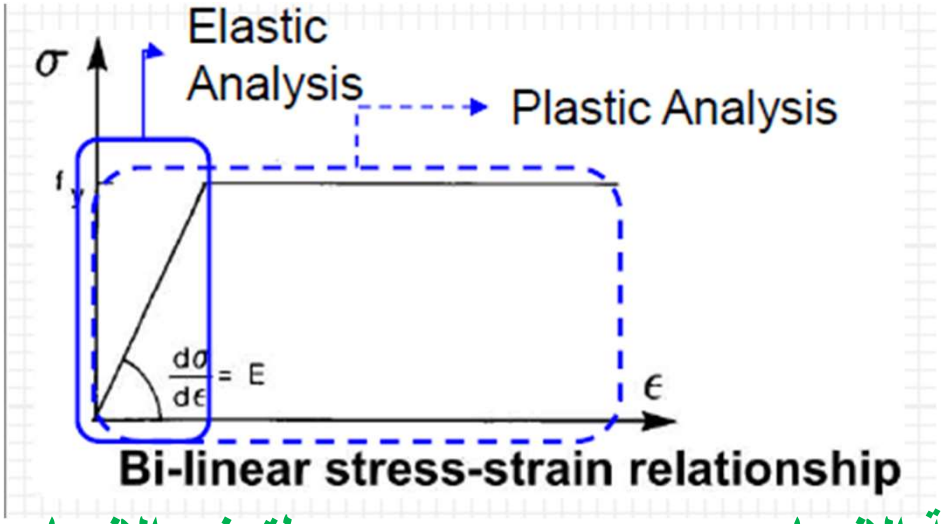
$$E = 210\,000\ N/mm^2$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 81\,000\ N/mm^2$$

$$\nu = 0{,}3$$

$$\alpha = 12 \times 10^{-6}\ perK \quad (\text{for } T \le 100\ ^\circ C)$$

Material Properties



Bi-linear stress-strain relationship

Ductility Requirements

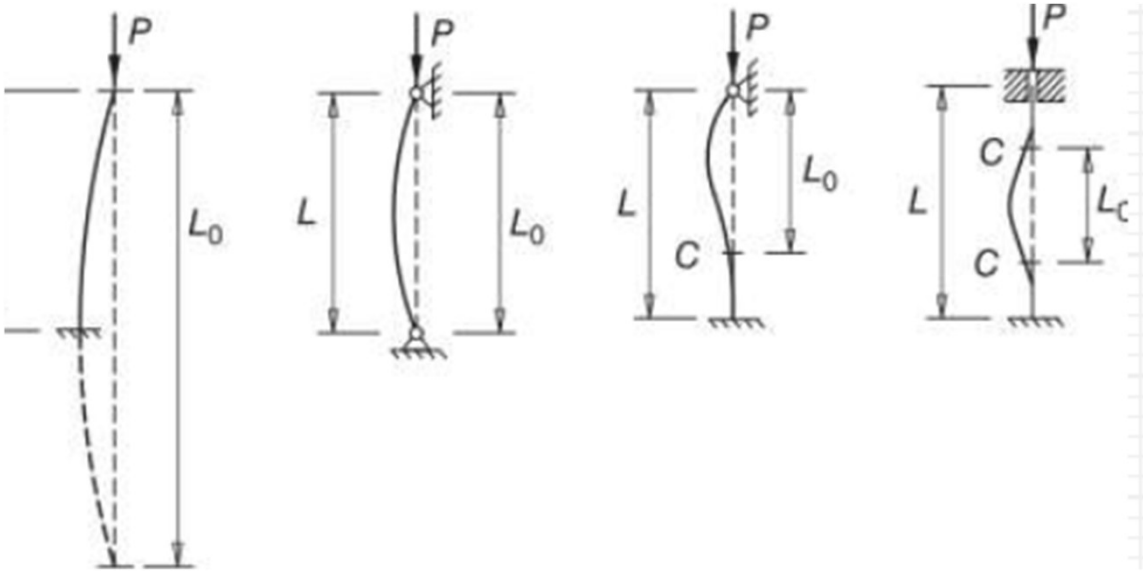
$f_u/f_y \ge 1.10$;
elongation at failure not less than 15%;
$\varepsilon_u \ge 15\varepsilon_y$, where ε_y is the yield strain ($\varepsilon_y = f_y / E$).

يجب على مادة الفولاذ ان تحقق حد ادنى كاف من متانة الانهيار Fracture Toughness لتجنب الانهيار الشد للعناصر عند تعرضها للحد الأدنى من درجات الحرارة المتوقعة خلال العمر التصميمي للمنشأ

Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

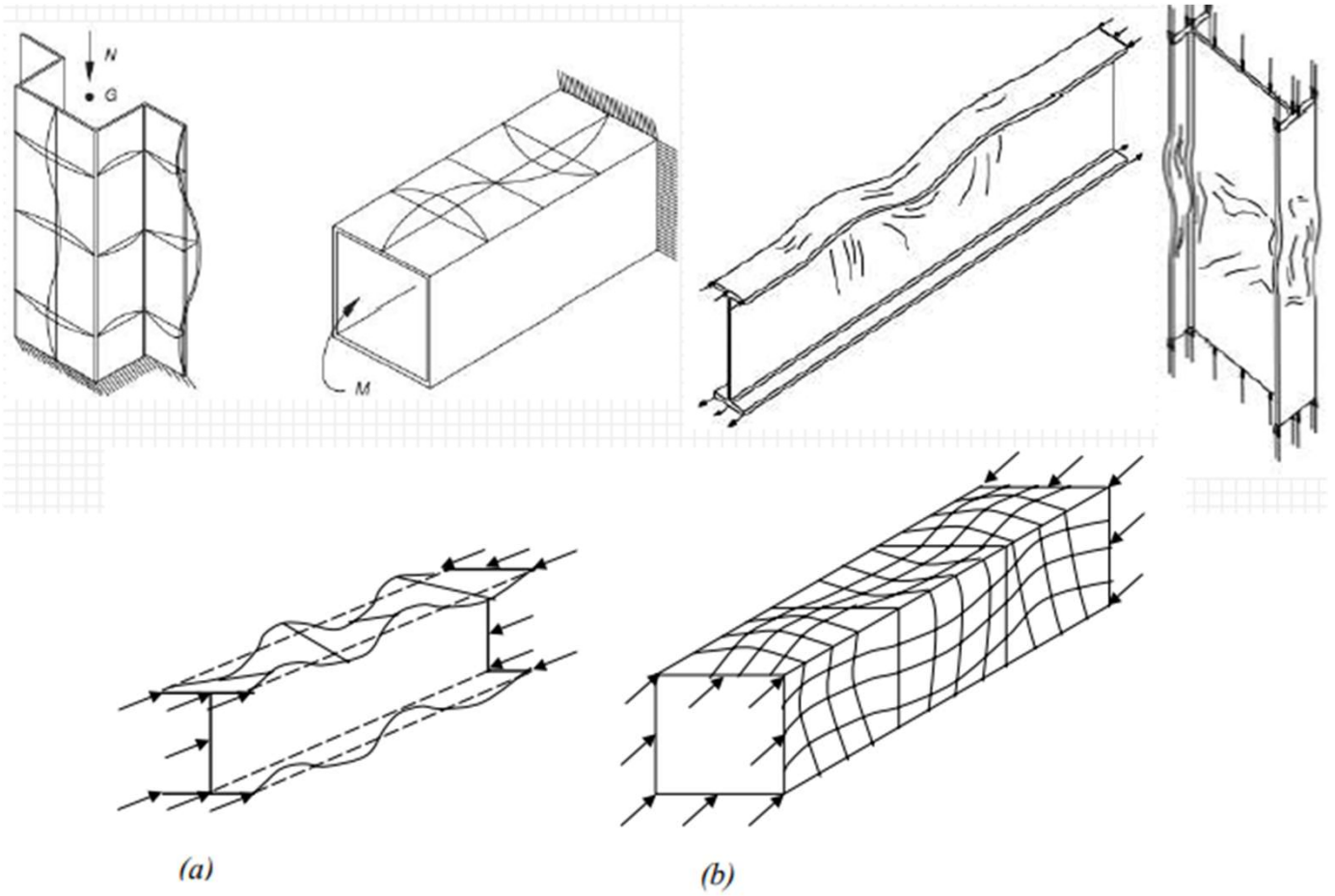
يتم تحديد عدم استقرار العناصر الفولاذية المضغوطة وأيضا كل العناصر المشكلة من مواد أخرى كمايلي:

- تحنيب كلي Overall Buckling او تحنيب اويلر الذي يؤثر على كامل طول العنصر او جزء منه



Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

- تحنيب موضعي Local Buckling يؤثر على العناصر المضغوطة المشكلة للمقطع العرضي والتي تتصف بتحنيب طول موجة قصيرة نسبيا



Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

- نوع ثالث من عدم الاستقرار يسمى التحنيب المتشوه Distortional buckling شوهد مؤخرا في كثير من المنشآت. يتميز هذا التحنيب بانزياحات نسبية للخط المطوي من المقطع العرضي ويكون طول الموجة المصاحبة عادة محدد بتحنيب موضعي محلي واحد و تحنيب كلي واحد

Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

يقترح الكود الاوربي Eurocode 3 معيار لتصنيف المقاطع العرضية يعتمد على **نسبة النحافة** (نسبة العرض /السماكة) لكل مكون من المقطع العرضي، وعلى عوامل أخرى.

يكون تصنيف المقطع العرضي ضروري من اجل **اختيار التحليل المناسب** وأيضا **الطرق المناسبة لاجراء التحقيق.**

عادة يكون أي مقطع عرضي مكون من اجزاء صفائحية مختلفة مثل الأجنحة والجسد التي تندرج ضمن معيارين:

- **Internal or stiffened elements داخلي يستند بشكل بسيط على طول الحافتين (الطرفين) الموازين لاتجاه لجهاد الضغط (المحور الطولي للعنصر)**
- **Outstand (external)or unstiffened elements خارجي يستند بشكل بسيط على طول حافة واحدة (طرف) وحر من الحافة الاخرى الموازية لاتجاه اجهاد الضغط**

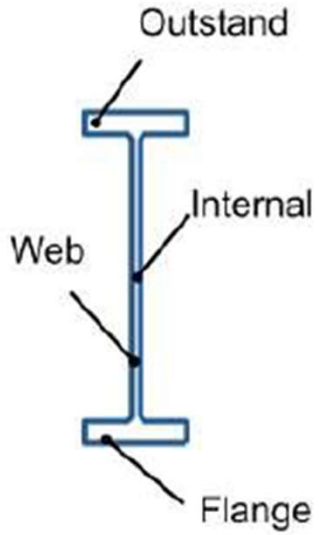
Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

- **Intenal or stiffened elemens داخلي** يستند بشكل بسيط على طول الحافتين (الطرفين) الموازين لاتجاه لجهاد الضغط (المحور الطولي للعنصر)
- **Outstand (external)or unstiffened elements خارجي** يستند بشكل بسيط على طول حافة واحدة (طرف) وحر من الحافة الاخرى الموازية لاتجاه اجهاد الضغط

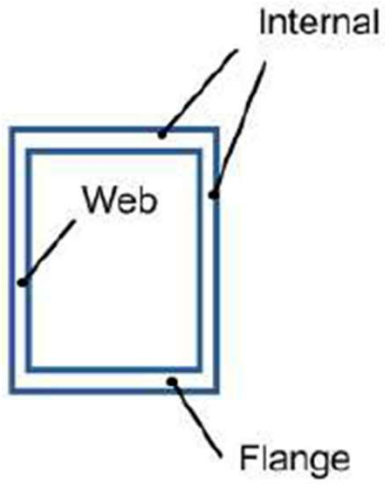
Rolled or welded sections may be considered an assembly of individual plate elements

Some are outstand
- flanges of I beams
- legs of angles and Tees

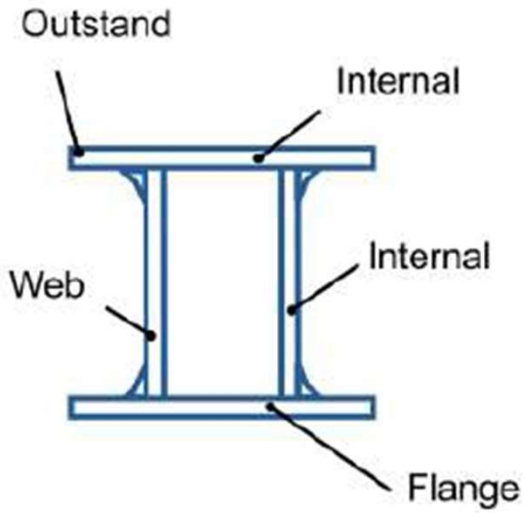
Some are internal
- webs of open beams
- flanges of boxes



Rolled I-section



Hollow section



Welded box section

Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

أساسيات تصنيف المقاطع العرضية

- يمكن للأجزاء الصفائحية النحيفة نسبيا المحملة باجهادات ضغط، أن تخضع للتحنيب الموضعي.
- يؤدي سعي أي جزء صفائحي ضمن المقطع العرضي للتحنيب الى تقييد قدرة تحمل الحمولة المحورية، او مقاومة المقطع على الانعطاف، عن طريق منع بلوغ الخضوع.
- يمكن تحقيق تجنب الانهيار المبكر الناتج من تاثيرات التحنيب الموضعي بتقييد نسبة العرض للسماكة للعناصر الموضعية ضمن المقطع العرضي

Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

التصنيف

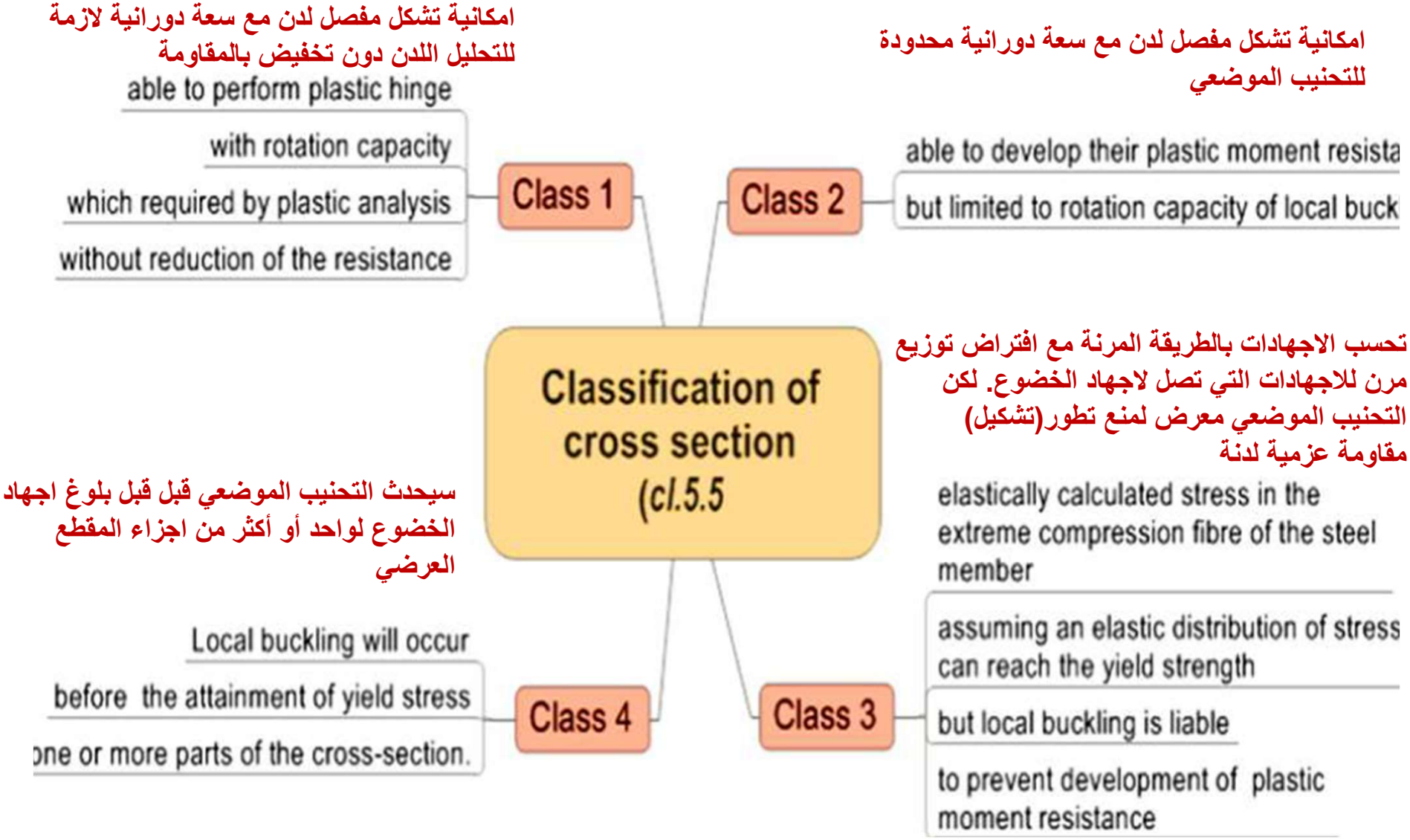
يعرف الكود الأوربي اربع أنواع من تصانيف المقطع العرضي هي:
Class1, Class2, Class3, Class4

يعتمد الصنف الذي يتبع له مقطع عرضي معين على:

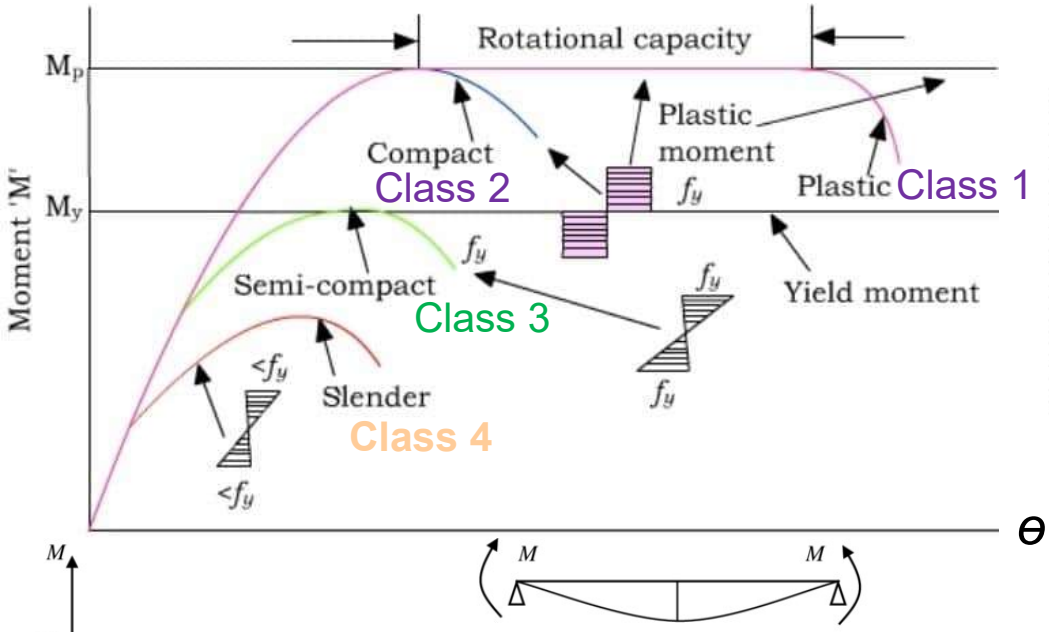
- نحافة كل جزء (عنصر)
- توزيع اجهاد الضغط

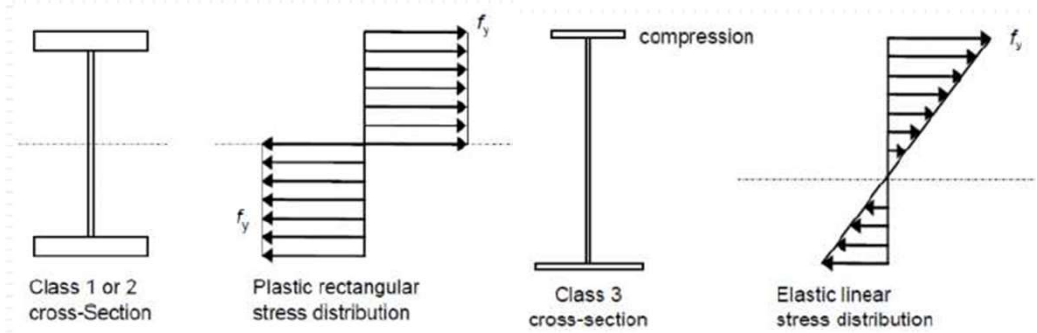
تعرف التصانيف حسب متطلبات الاداء من اجل مقاومة عزوم الانعطاف

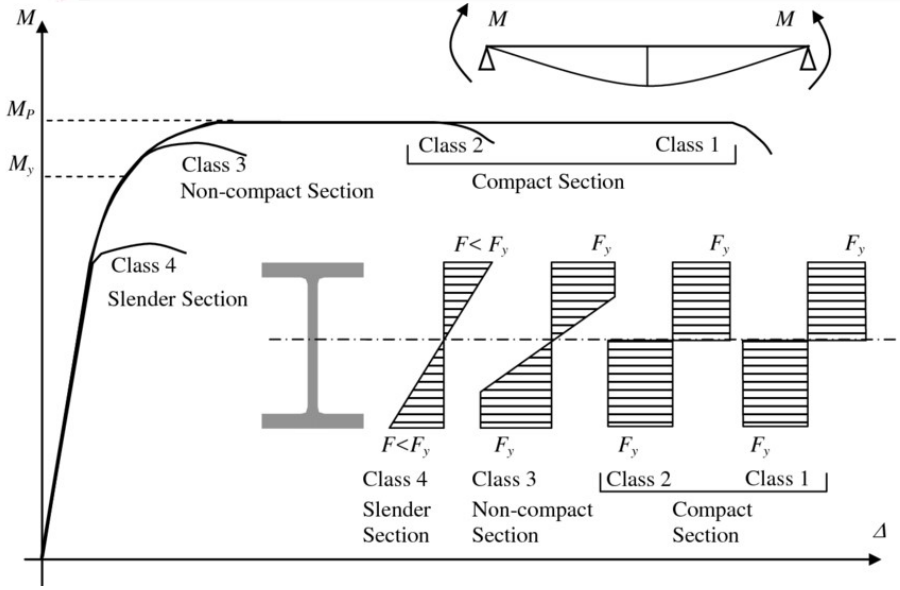
Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية



Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية







Class of Cross-section	Resistance	Rotational Capacity
1	plastic	high
2	plastic	low
3	elastic	none
4	elastic, effective cross-section	none

Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

إجراءات تحديد التصنيف

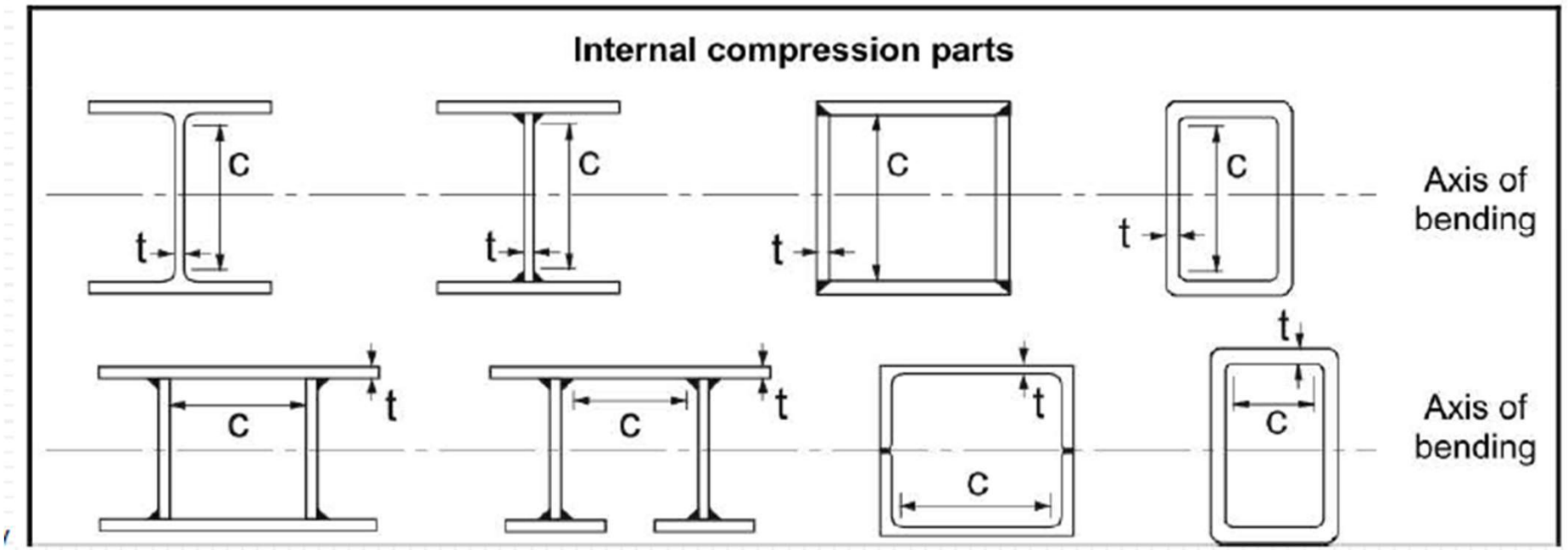
يعود تقييد نسبة العرض للسماكة للمقاطع العرضية الى القسم Table 5.2 of EN 1993:1-1:2005 من الكود الأوربي.

تتبع عملية التصنيف الخطوات الأساسية:

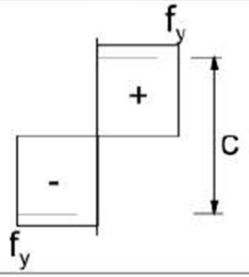
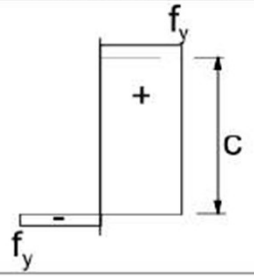
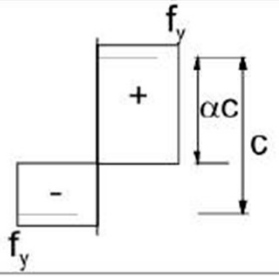
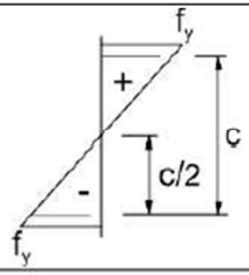
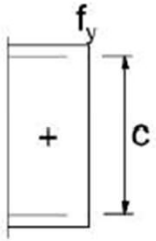
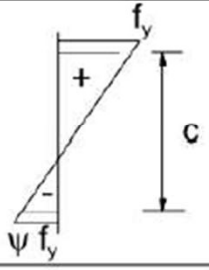
- **حدد نسبة النحافة (c/t or d/t)**
- **حدد البارامتر ε**
- **حدد صنف ذلك العنصر بالاعتماد على القيمة المقيدة من نسبة السماكة**
- **صنف المقطع العرضي الكلي حسب أقل تصنيف لعناصره.**

Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

Table 5.2 (sheet 1 of 3): Maximum width-to-thickness ratios for compression parts



Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

Class	Part subject to bending	Part subject to compression	Part subject to bending and compression
Stress distribution in parts (compression positive)			
1	$c/t \le 72\varepsilon$	$c/t \le 33\varepsilon$	when $\alpha > 0{,}5$: $c/t \le \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ when $\alpha \le 0{,}5$: $c/t \le \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \le 83\varepsilon$	$c/t \le 38\varepsilon$	when $\alpha > 0{,}5$: $c/t \le \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ when $\alpha \le 0{,}5$: $c/t \le \frac{41{,}5\varepsilon}{\alpha}$
Stress distribution in parts (compression positive)			
3	$c/t \le 124\varepsilon$	$c/t \le 42\varepsilon$	when $\psi > -1$: $c/t \le \frac{42\varepsilon}{0{,}67 + 0{,}33\psi}$ when $\psi \le -1^{*)}$: $c/t \le 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$

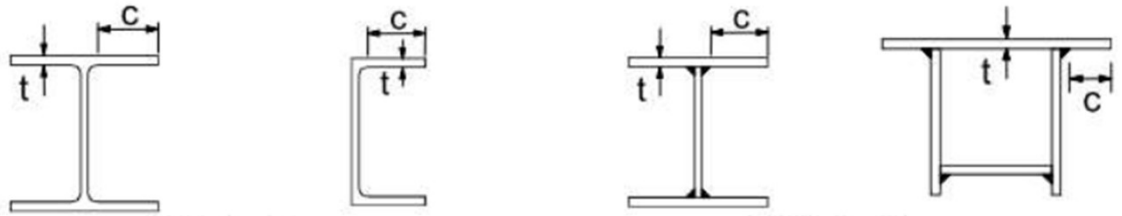
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \le -1$ applies where either the compression stress $\sigma \le f_y$ or the tensile strain $\varepsilon_y > f_y/E$

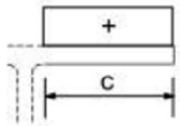
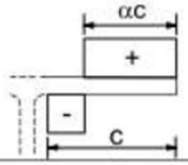
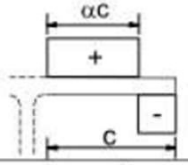
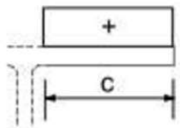
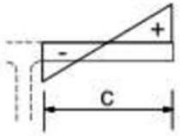
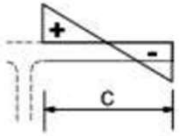
Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

Table 5.2 (sheet 2 of 3): Maximum width-to-thickness ratios for compression parts

Outstand flanges



Rolled sections | Welded sections

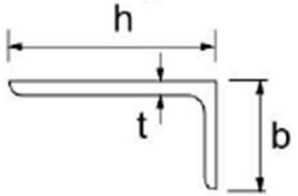
Class	Part subject to compression	Part subject to bending and compression	
		Tip in compression	Tip in tension
Stress distribution in parts (compression positive)			
1	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Stress distribution in parts (compression positive)			
3	$c/t \le 14\varepsilon$	$c/t \le 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ For k_σ see EN 1993-1-5	

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

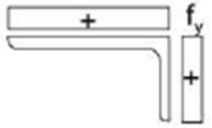
Table 5.2 (sheet 3 of 3): Maximum width-to-thickness ratios for compression parts

Angles

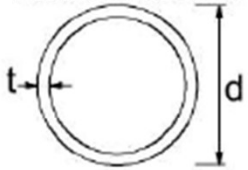


Refer also to "Outstand flanges" (see sheet 2 of 3)

Does not apply to angles in continuous contact with other components

Class	Section in compression
Stress distribution across section (compression positive)	
3	$h/t \le 15\varepsilon : \frac{b+h}{2t} \le 11{,}5\varepsilon$

Tubular sections



Class	Section in bending and/or compression
1	$d/t \le 50\varepsilon^2$
2	$d/t \le 70\varepsilon^2$
3	$d/t \le 90\varepsilon^2$ **NOTE** For $d/t > 90\varepsilon^2$ see EN 1993-1-6.

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$

f_y	235	275	355	420	460
ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

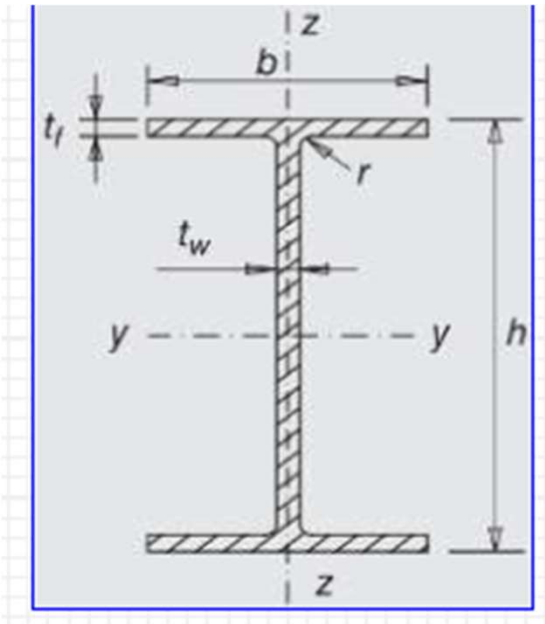
Classification of Cross-sections تصنيف المقاطع العرضية

Summary ملخص

- يمكن اعتبار المقاطع العرضية الانشائية كتركيب من العناصر الصفائحية الخاصة
- يمكن ان تكون العناصر الصفائية داخلية او خارجية الاستناد
- يمكن لهذه الصفائح ان تخضع للتحنيب الموضعي اذا تم تحميلها على الضغط
- يمكن للتحنيب الموضعي ان يقيد قدرة تحمل الحمولة للمقطع عن طريق منع الوصول لمقاومة الخضوع
- يمكن تجنب الانهيار الموضعي الناتج عن التحنيب المحلي عن طريق تقييد نسبة السماكة للعرض او النحافة للعناصر الصفائية ضمن المقطع الطولي
- يعرف الكود الاوربي أربعة تصانيف للمقطع العرضي
- يعتمد الصنف الذي يقع ضمنه مقطع عرضي معين على نحافة كل عنصر وعلى توزيع اجهاد الضغط

Classification of Cross-sections:
Example of a Member for Compression

Example 1.1. Determine the class of IPE 550 profile S275 steel grade under axial compression load.



IPE 550 Section Dimensions

h = 550mm
b = 210mm
tw= 11.1mm
tf = 17.2mm
r = 24mm

S 275 Material Properties

fy = 275MPa
fu = 430MPa
E = 210GPa

h = 550mm
b = 210mm
t_w= 11.1mm
t_f = 17.2mm
r = 24mm

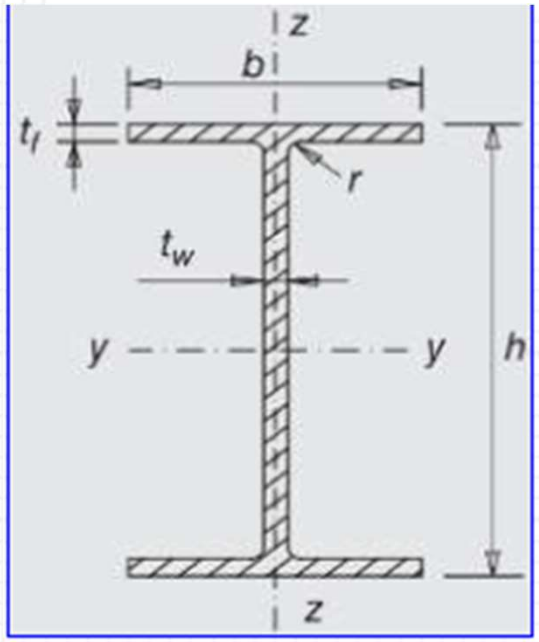
Solution [a]. Flange Classification

Step1: Identify the element type

external or outstand element.

Step2: Evaluate the slenderness ratio (c/t or d/t)

$$\frac{c}{t}=\frac{b-t_w-(2\cdot r)}{2\cdot t_f}=\frac{210-11.1-(2\times 24)}{2\times 17.2}=\frac{150.9}{34.4}=4.39$$



Step3: Evaluate the parameter ε.

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{235}{f_y}}=\sqrt{\frac{235}{275}}=0.924$$

Step4: Determine the class of that element

$$\frac{c}{t}=4.39<9\varepsilon=8.32\Rightarrow \text{Class 1}$$

Solution [b]. Web Classification

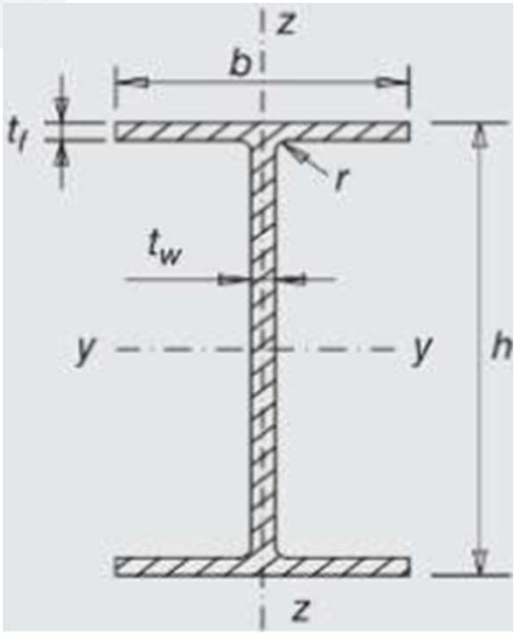
h = 550mm
b = 210mm
t_w= 11.1mm
t_f = 17.2mm
r = 24mm

Step1: Identify the element type

internal or stiffened element.

Step2: Evaluate the slenderness ratio (c/t or d/t)

$$\frac{c}{t}=\frac{h-(2\cdot t_f)-(2\cdot r)}{t_w}=\frac{550-(2\times 17.2)-(2\times 24)}{11.1}=42.2$$



Step3: Evaluate the parameter ε.

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{235}{f_y}}=\sqrt{\frac{235}{275}}=0.924$$

Step4: Determine the class of that element

$$\frac{c}{t}=42.2>42\varepsilon=38.83\Rightarrow \text{Class 4}$$

Solution [c]. Section Classification

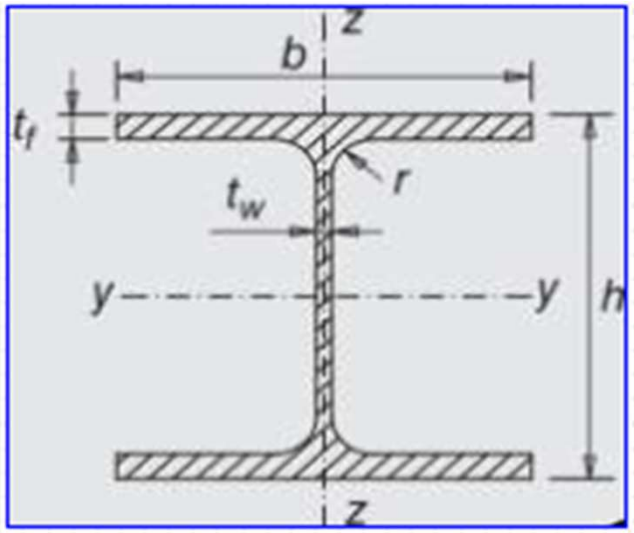
The complete cross-section according to the least favorable classification is CLASS 4

Classification of Cross-sections:

Example of a Member for Flexure about the Major Axis

Example 1.2. Determine class of a HEA 280 profile in S 420 steel grade bent along its major axis

HEA 280 Section Dimensions



h = 270mm
b = 280mm
t_w= 8.0mm
t_f = 13.0mm
r = 24mm

S 420 Material Properties

fy = 420MPa
fu = 540MPa
E = 210GPa

h = 270mm
b = 280mm
t_w= 8.0mm
t_f = 13.0mm
r = 24mm

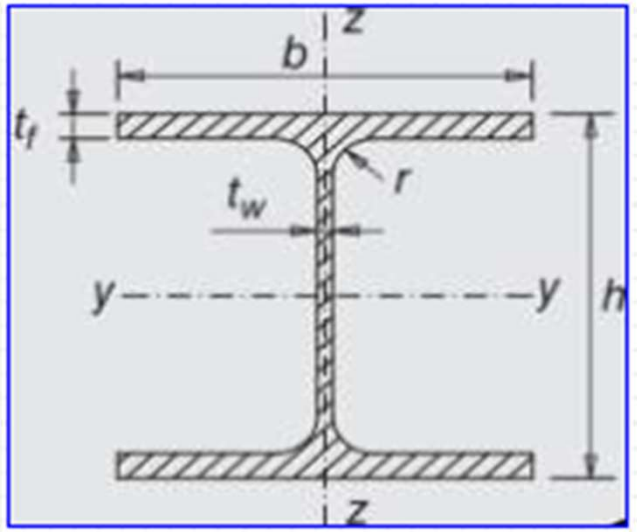
Solution [a]. Flange Classification

Step1: Identify the element type

external or outstand element.

Step2: Evaluate the slenderness ratio (c/t or d/t)

$$\frac{c}{t}=\frac{b-t_w-(2\cdot r)}{2\cdot t_f}=\frac{280-8-(2\times 24)}{2\times 13}=\frac{224}{26}=8.62$$



Step3: Evaluate the parameter ε.

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{235}{f_y}}=\sqrt{\frac{235}{420}}=0.748$$

Step4: Determine the class of that element

$$10\varepsilon<\frac{c}{t}=8.62<14\varepsilon \Rightarrow \text{Class 3}$$

Solution [b]. Web Classification

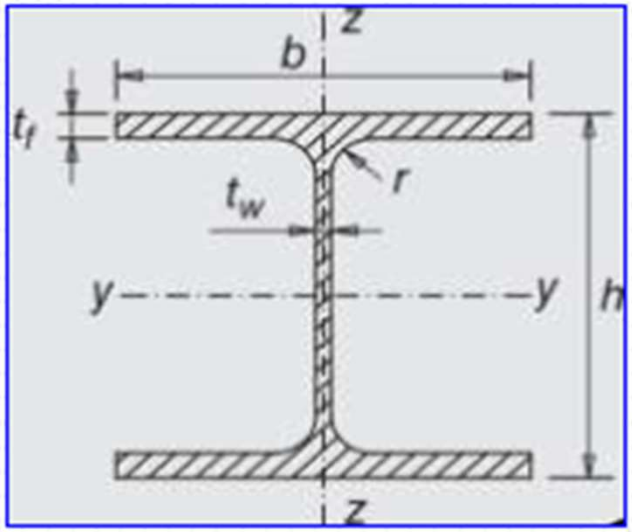
Step1: Identify the element type

internal or stiffened element.

h = 270mm
b = 280mm
t_w= 8.0mm
t_f = 13.0mm
r = 24mm

Step2: Evaluate the slenderness ratio (c/t or d/t)

$$\frac{c}{t}=\frac{h-(2\cdot t_f)-(2\cdot r)}{t_w}=\frac{270-(2\times 13)-(2\times 24)}{8}=24.5$$



Step3: Evaluate the parameter ε.

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{235}{f_y}}=\sqrt{\frac{235}{420}}=0.748$$

Step4: Determine the class of that element

$$\frac{c}{t}=24.5<72\varepsilon=53.86\Rightarrow \text{Class 1}$$

Solution [c]. Section Classification

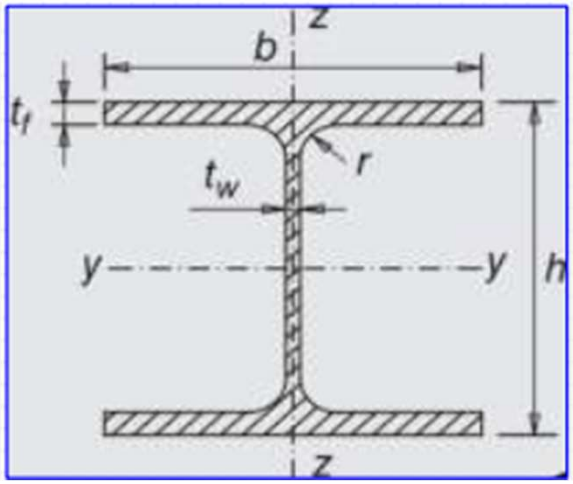
The complete cross-section according to the least favorable classification is CLASS 3

Classification of Cross-sections:

Example of a Member for Flexure about the Minor Axis

Example 1.3. Determine the class of an S 460 steel HEA 280 profile in flexure around its major axis.

HEA 280 Section Dimensions



h = 270mm
b = 280mm
tw= 8.0mm
tf = 13.0mm
r = 24mm

S 460 Material Properties

fy = 460MPa
fu = 540MPa
E = 210GPa

Solution [a]. Flange Classification

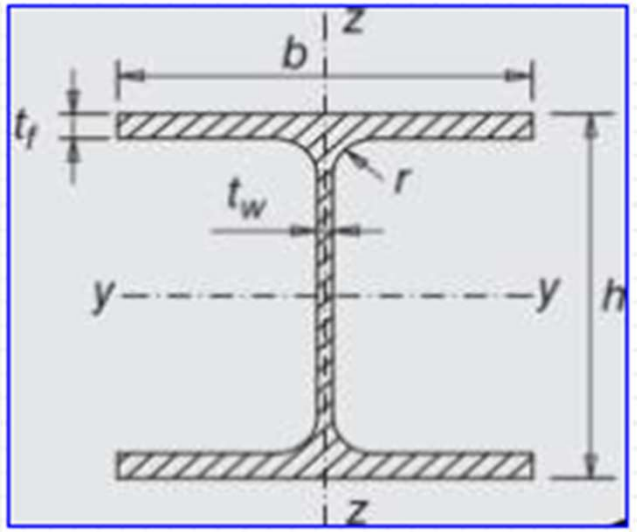
h = 270mm
b = 280mm
tw= 8.0mm
tf = 13.0mm
r = 24mm

Step1: Identify the element type

external or outstand element.

Step2: Evaluate the slenderness ratio (c/t or d/t)

$$\frac{c}{t}=\frac{b-t_w-(2\cdot r)}{2\cdot t_f}=\frac{280-8-(2\times 24)}{2\times 13}=\frac{224}{26}=8.62$$



Step3: Evaluate the parameter ε.

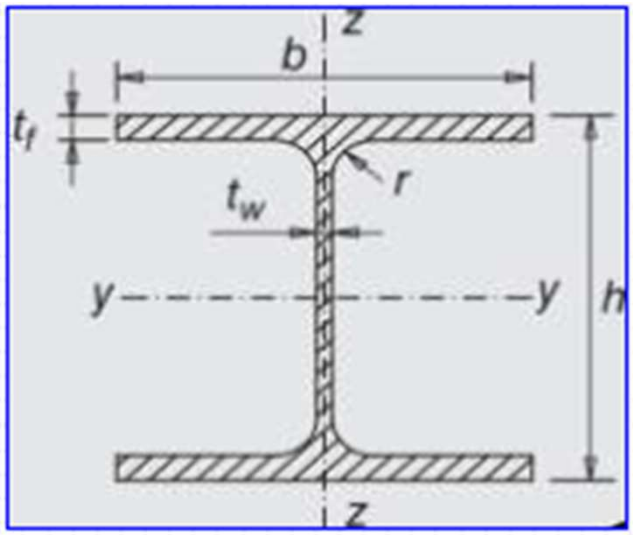
$$\varepsilon=\sqrt{\frac{235}{f_y}}=\sqrt{\frac{235}{460}}=0.715$$

Step4: Determine the class of that element

$$10\varepsilon<\frac{c}{t}=8.62<14\varepsilon\Rightarrow \text{Class 3}$$

Solution [b]. Web Classification

Web buckling is not a limit state for flexure around a minor axis, so web classification is not applicable in this case



Solution [c]. Section Classification

The complete cross-section according to the least
favorable classification is **CLASS 3**