



المنشآت المعدنية الفصل الصيفي 2024-2025

أ.د. نايل محمد حسن

✓ المحاضرة الأولى-الثانية: مفاهيم أساسية

✓ المحاضرة الثالثة: أساسيات المنشآت المعدنية

✓ المحاضرة الرابعة: العناصر الخاضعة للشد المركزي

المحاضرة الخامسة: أمثلة عملية

المحاضرة الرابعة:

Tension Members (عناصر الشد)

(أمثلة عملية)

3-2 تصميم عناصر الشد Design of tension members

1-3-2 عناصر الشد المحملة مركزياً *Concentrically loaded*

تتبع طريقة تصميم المقاومة لعناصر الشد المحملة مركزياً في كود EC3، حيث تمثل حالتها الحد المنفصلتين لخضوع المقطع الكلي وانهيار المقطع الصافي بمعادلة واحدة هي:

$$N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd}$$

- يتم الحصول على **قوة الشد التصميمية** $N_{t,Ed}$ في كل مقطع عرضي من العنصر، من أجل تصميم أو تحقيق عنصر الشد، عن طريق **التحليل الإنشائي**،
- مع استخدام الحمولات المناسبة وعوامل الحمولة الجزئية γ_G, γ_Q

3-2 تصميم عناصر الشد Design of tension members

حيث $N_{t,Rd}$ مقاومة الشد التصميمية وهي تؤخذ القيمة الاصغر من:
مقاومة الخضوع (أو اللدنة) للمقطع العرضي $N_{pl,Rd}$
و المقاومة الحدية (أو الانهيار) للمقطع العرضي الحاوي على ثقوب $N_{u,Rd}$.

$$N_{t,Rd} = \min \{N_{u,Rd} \ N_{pl,Rd}\}$$

تعطى مقاومة الخضوع (حالة حد الخضوع) في كود $EC3$ كمايلي

$$N_{pl,Rd} = Af_y / \gamma_{M0}$$

حيث A المساحة الاجمالية للمقطع العرضي،

و γ_{M0} العامل الجزئي لمقاومة المقطع العرضي، وهو يأخذ القيمة 1.0 ، او حسب القيم المفروضة

3-2 تصميم عناصر الشد Design of tension members

تعطى **المقاومة الحدية** (حالة حد الانهيار) للمقطع العرضي

الحاوي على ثقوب للمعادلة في كود *EC3* كمايلي:

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2},$$

- حيث A_{net} هي المساحة الصافية للمقطع العرضي
- γ_{M2} عامل جزئي للمقاومة على الانهيار بالشد، وتعطى قيمته (حسب الملحق البريطاني) بـ 1.1 في كود *EC3*.
- يضمن العامل 0.9 في المعادلة أن العامل الجزئي الفعال $\gamma_{M2} / 0.9$ (≈ 1.22) لحالة حد انهيار المادة ($N_{u,Rd}$) هو أعلى من قيمة γ_{M0} ($=1.0$) لحالة حد الخضوع ($N_{pl,Rd}$).

تعرف $A_{net,eff}$ لزاوية مفردة على الشد متصلة بصف واحد من البراغي في ساق واحدة والتي ستستخدم مكان المساحة الصافية A_{net} في المعادلة 2.4. إنها تعتمد على عدد البراغي والخطوة p_1 ،

وتعطى المقاومة الحدية التصميمية بالعلاقات التالية $(N_u = A_{net,eff} f_u)$:

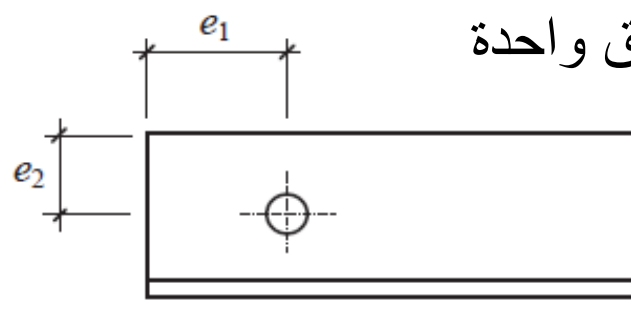
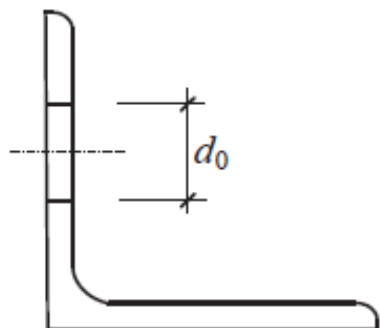
$$N_{u,Rd} = \frac{2.0(e_2 - 0.5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}}; \quad (1 \text{ bolt}) \quad \text{من أجل برغي واحد}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}; \quad (2 \text{ bolts}) \quad \text{من أجل برغين}$$

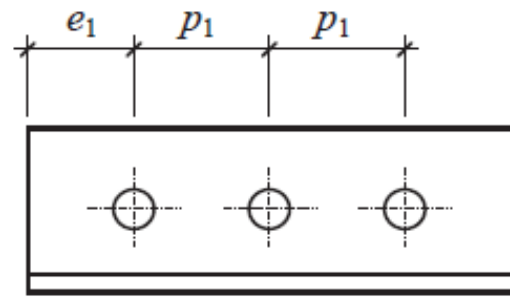
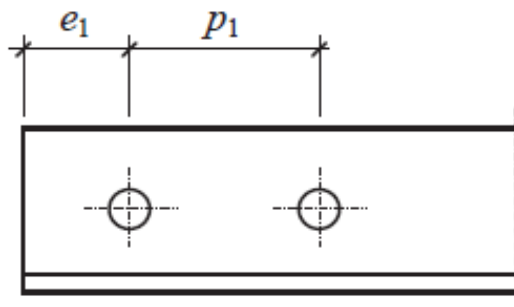
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}. \quad (3 \text{ bolts or more}) \quad \text{من أجل 3 لراغي أو أكثر}$$

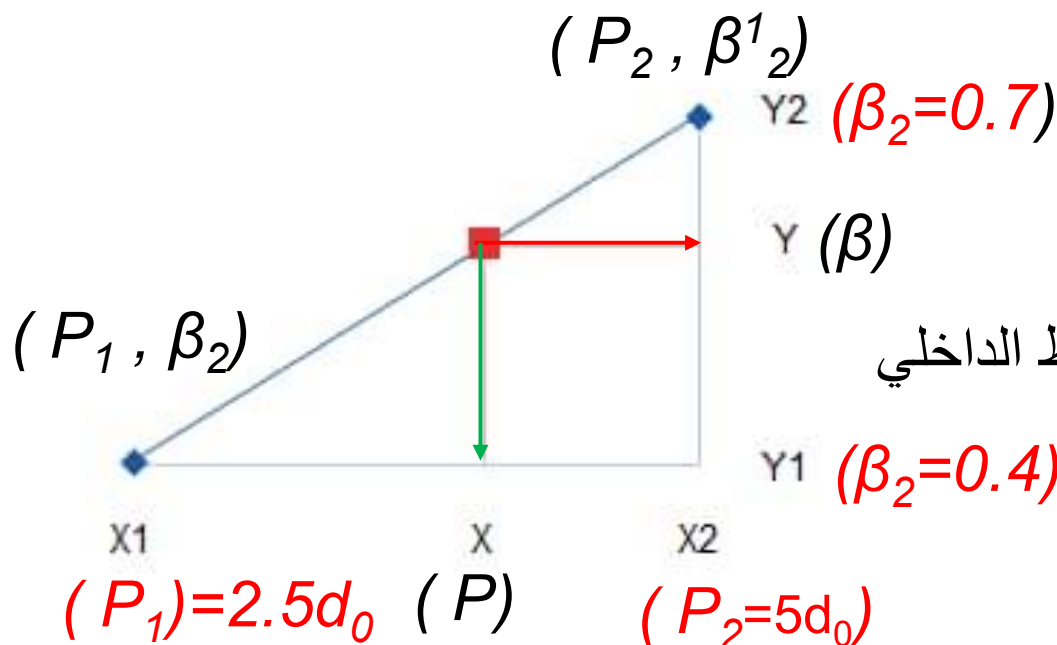
عوامل التخفيض β_2 β_3

Distance	p_1	$\leq 2.5 d_0$	$\geq 5.0 d_0$
2 bolts	β_2	0.4	0.7
3 bolts or more	β_3	0.5	0.7



زويا متصلة بساق واحدة





حساب عوامل التخفيض β_2 بالتوسيط الداخلي

$$(P-2.5d_0)/(2.5d_0)=(\beta_2-0.4)/(0.3)$$

$$\beta_2 = 0.4 + (P-2.5d_0) (0.7-0.4)/(2.5d_0)$$

$$P_1=70\text{mm}$$

$$d_o=17\text{mm}$$

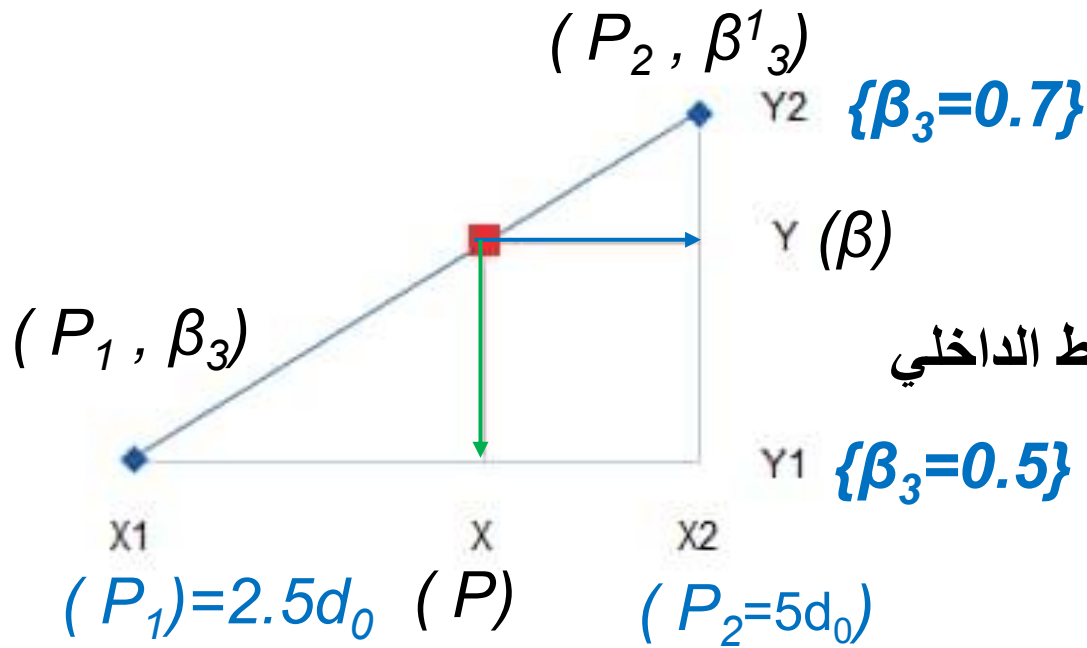
$$\beta_2 = 0.4 + (70-2.5 \times 17) (0.7-0.4)/(2.5 \times 17)$$

$$(\beta_2=0.594)$$

$$\frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} = \frac{(Y - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)}$$

$$Y = Y_1 + (X - X_1) \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)}$$

$$Y = Y_1 + (X - X_1) (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1)$$



حساب عوامل التخفيض β_3 بالتوسيط الداخلي

$$\frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} = \frac{(Y - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)}$$

$$Y = Y_1 + (X - X_1) \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)}$$

$$Y = Y_1 + (X - X_1) (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1)$$

$$(P - 2.5d_0) / (2.5d_0) = (\beta_3 - 0.5) / (0.2)$$

$$\beta_3 = 0.5 + (P - 2.5d_0) (0.7 - 0.5) / (2.5d_0)$$

$$P_1 = 30\text{mm}$$

$$d_0 = 22\text{mm}$$

$$\beta_3 = 0.5 + (P - 2.5d_0) (0.7 - 0.5) / (2.5d_0)$$

$$\{\beta_3 = 0.409\}$$

- تعرف الرموز الداخلة في المعادلات كما في الشكل،
- و A_{net} هي **المساحة الصافية للزاوية**.
- تؤخذ A_{net} للزاوية **مختلفة الساقين** والمتصلة **بالساق الأصغر** مساوية للمقطع الصافي لزاوية مكافئة **متساوية الساقين** طول ساقها مساو **للساق الأصغر** للزاوية المختلفة الساقين.
- عندما تكون وصلات النهاية **ملحومة**، وتكون الزاوية متساوية الساقين، أو الزاوية مختلفة الساقين متصلة بساقها الأكبر، يمكن إهمال اللامركزية، وتؤخذ المساحة الفعالة A_{net} مساوية للمساحة الكلية A

- تعرف الرموز الداخلة في المعادلات كما في الشكل،
- و A_{net} هي **المساحة الصافية للزاوية**.
- تؤخذ A_{net} للزاوية **مختلفة الساقين** والمتصلة **بالساق الأصغر**
- مساوية للمقطع الصافي لزاوية مكافئة **متساوية الساقين** طول ساقها مساو **للساق الأصغر** للزاوية المختلفة الساقين.
- عندما تكون وصلات النهاية **ملحومة**، وتكون الزاوية متساوية الساقين، أو الزاوية مختلفة الساقين متصلة بساقها الأكبر، يمكن إهمال اللامركزية،
- وتؤخذ المساحة الفعالة A_{net} مساوية للمساحة الكلية A

تنخفض مساحة المقطع العرضي للعديد من عناصر الشد الحاوية على أكثر من صف واحد من البراغي بواسطة تعرج صفوف الثقوب، الشكل أدناه

- يجب في هذه الحالة اخذ مسار الانهيار المتعرج zig-zag مثل ABCDE في الشكل، بدلاً من المقطع العمودي على الحمولة.
- يعتمد المقدار الأصغري للتعرج s_m الذي من أجله لاتنقص مساحة الثقب من مساحة العنصر، على قطر الثقب d_0 والميل p/s لمسار الانهيار،
- حيث p مقدار المسافة بين صفوف الثقوب. تعطى مسافة التعرج بعلاقة تقريبية هي:

$$s_m \approx (4pd_0)^{1/2}.$$

عندما تكون قيمة **مسافة التعرج الفعلية (S)** أقل من s_m ، يجب طرح جزء من مساحة الثقب A_h من المساحة الكلية A ، ويمكن حساب ذلك تقريبا من العلاقة:

ويمكن حساب ذلك تقريبا من العلاقة

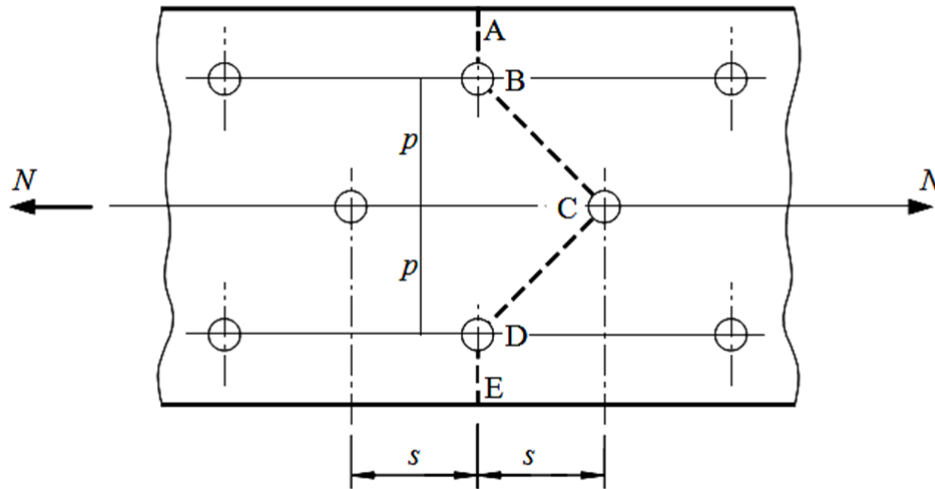
If $S < S_m$ -----> calculate A_h

$$A_h = d_0 t (1 - s^2 / s_m^2),$$

حيث:

$$A_h = d_0 t (1 - s^2 / 4 p d_0),$$

$$A_{net} = A - \sum d_0 t + \sum s^2 t / 4 p,$$



مسار الانهيار الممكن مع توضع ثقوب متعرجة

- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتعرج المدروس ولكل مسافات التعرج في المسار.
- سمح كود $EC3$ في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N / A_{net} الذي تم مناقشته أعلاه.

- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتعرج المدروس ولكل مسافات التعرج في المسار.
- سمح كود $EC3$ في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N / A_{net} الذي تم مناقشته أعلاه.

خلاصة

- العلاقة الاساسية $N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd}$
- $N_{t,Rd}$ مقاومة الشد التصميمية وهي تؤخذ القيمة الاصغر من:
مقاومة الخضوع (أو اللدنة) للمقطع العرضي $N_{pl,Rd}$
و المقاومة الحدية (أو الانهيار) للمقطع العرضي الحاوي على ثقب $N_{u,Rd}$.
- $$N_{t,Rd} = \min \{N_{u,Rd} \ N_{pl,Rd}\}$$
- تعطى مقاومة الخضوع (حالة حد الخضوع) في كود EC3 كمايلي
$$N_{pl,Rd} = Af_y / \gamma_{M0}$$
- حيث A المساحة الاجمالية للمقطع العرضي، و γ_{M0} العامل الجزئي لمقاومة المقطع العرضي، وهو يأخذ افتراضيا القيمة 1.0، او حسب القيم المعطاة.
- تعطى المقاومة الحدية (حالة حد الانهيار) للمقطع العرضي الحاوي على ثقب في كود EC3 كمايلي (العامل γ_{M2} يأخذ افتراضيا القيمة 1.1):
$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2},$$

1.4 Nominal values of yield strength f_y and ultimate tensile strength f_u for hot rolled structural steel

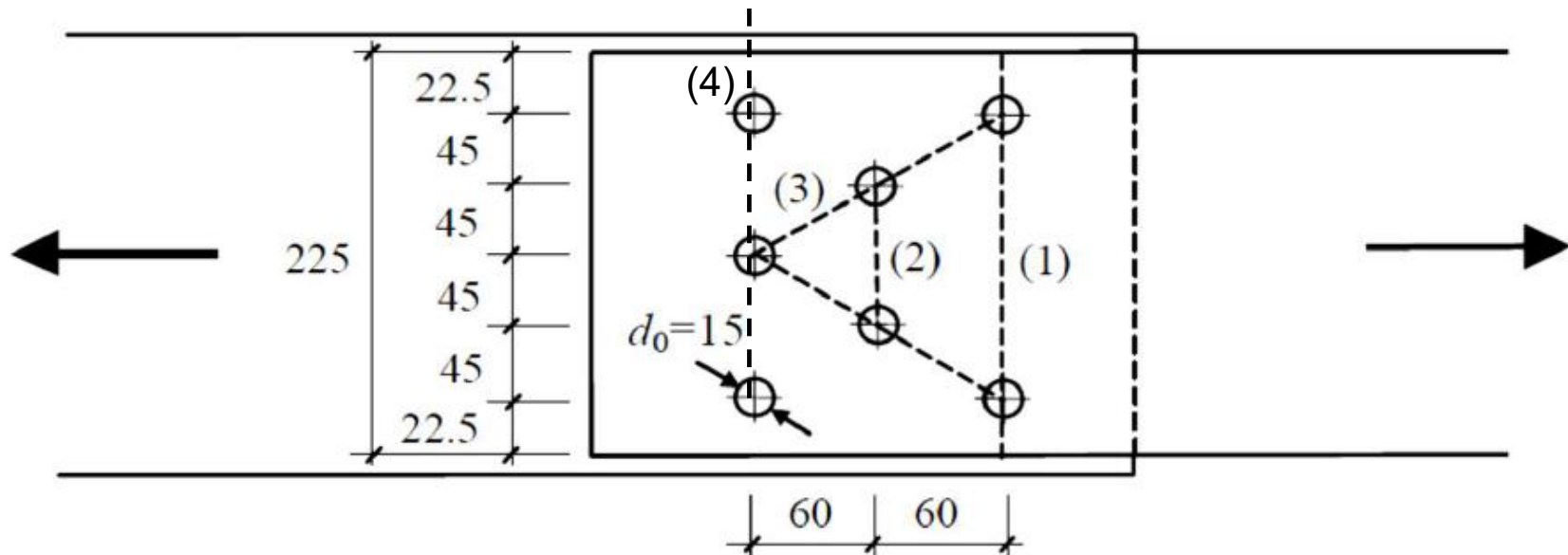
Table 3.1: Nominal values of yield strength f_y and ultimate tensile strength f_u for hot rolled structural steel

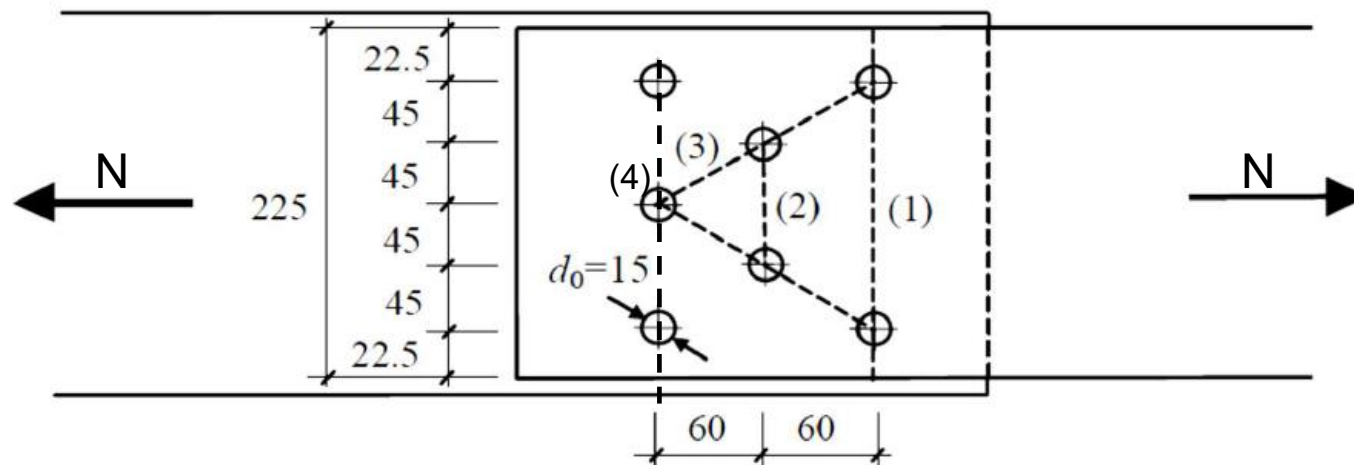
Standard and steel grade	Nominal thickness of the element t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

أمثلة عملية Worked examples

Example 2.1:

- 1- Calculate the net area A_{net} of the bolted section of the plate represented in Figure. Assume a plate with thickness $t=10 \text{ mm}$ and the remaining dimensions (in mm), as indicated in Figure
- 2- Determine the design tensile strength of the plat ($f_y=250\text{MPa}$, $f_u=420 \text{ Mpa}$)
- 3- Determine the Efficiency of the plate with holes





- Taking fracture section 1-3 into Account, We get

$$\text{Fracture section 1} \rightarrow A_{net}^{(1)} = 225 \times t - 2 \times t \times 15 = 195 \, t.$$

$$\text{Fracture section 2} \rightarrow A_{net}^{(2)} = 225 \times t - 4 \times t \times 15 + 2 \times t \times \frac{60^2}{4 \times 45} = 205t.$$

$$\text{Fracture section 3} \rightarrow A_{net}^{(3)} = 225 \times t - 5 \times t \times 15 + 4 \times t \times \frac{60^2}{4 \times 45} = 230t.$$

The net area of the plate is given by the minimum value, $A_{net} = 195t$.

- Taking fracture section4 into Account, We get

$$\text{Fracture section 4} \quad A_{net}^{(4)} = 225 \times t - 3 \times t \times 15 = 180t$$

The net area of plate is given by the minimum value, $A_{\text{net}} = 180 \text{ t}$

2- Determine the design tensile strength of the plat

$$N_{t,Rd} = \min \{N_{u,Rd} \ N_{pl,Rd} \}$$

$$N_{pl,Rd} = Af_y/\gamma_{M0}$$

$$N_{pl,Rd} = (225 \times 10) \times 250 / (1 \times 1000) = 562.5 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2},$$

$$N_{u,Rd} = (0.9 \times 180 \times 10) \times 420 / (1.1 \times 1000) = 618.55 \text{ kN}$$

Therefore

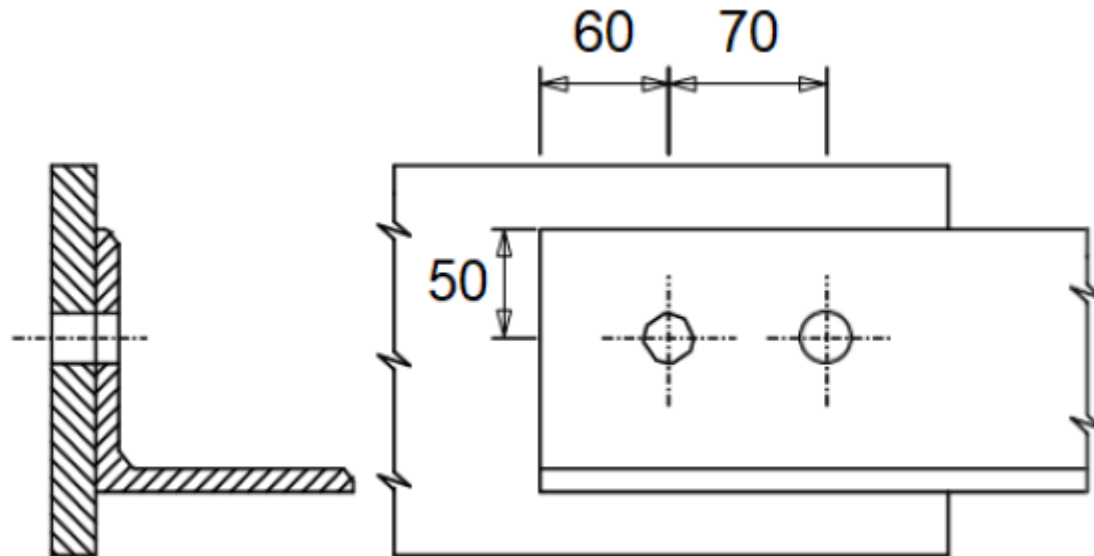
$$N_{t,Rd} = \min \{N_{u,Rd} \ N_{pl,Rd} \} = 562.5 \text{ kN}$$

3- Determine the Efficiency of the plate with holes

$$= N_{t,Rd} / N_{pl,Rd} = 562.5 / 562.5 = 1$$

Example 2.2

Verify the strength of a single equal leg angle L 120×10 mm in tension connected on one side via one line of two M16 ($d=16$ mm) bolts in standard holes ($d_o=17$ mm) as shown in Figure, (dimensions in millimeters). Bolts connect only one side of the angle to a gusset plate. The angle is subjected to a design axial load $N_{t,Ed}$ of 350 kN
 Conceder: $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$ $A = 23.2 \text{ cm}^2$.



Solution:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, f_u = 360 \text{ N/mm}^2, A = 23.2 \text{ cm}^2.$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23.2 \times 10^2 \times 235}{1.0} \times 10^{-3} = 545.2 \text{ KN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$p_1 = 70 \text{ mm} \rightarrow \rightarrow 2.5d_o = 42.5 \text{ mm} \text{ \& } 5d_o = 85 \text{ mm} \rightarrow \rightarrow$$

$$42.5 < 70 < 85 \rightarrow \text{linear interpolation between 0.4\&0.7}$$

$$\rightarrow \rightarrow \beta_2 = 0.594$$

$$A_{net} = 23.2 \times 10^2 - (17 \times 10) = 2150 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.594 \times 2150 \times 360}{1.25} \times 10^{-3} = 367.80 \text{ KN}.$$

$$N_{t,Rd} = 367.80 \text{ KN (the lesser of } N_{pl,Rd} \text{ and } N_{u,Rd}) > 350 \text{ KN}.$$

$$\text{So, the member is satisfactory. } N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd} \quad \mathbf{350/367.8 = 0.95}$$