Steel Structures 1
Summer term
2024-2023

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 الرابعة: أمثلة عملية

Tension Members (عناصر الشد)

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

تتبع طريقة تصميم المقاومة لعناصر الشد المحملة مركزياً في كود EC3، حيث تُمثل حالتي 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

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
- $\gamma_{M\,2}$ 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 $0.9/\gamma_{M\,2}$ (≈ 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 ($N_u = A_{net,eff} f_u$):

من أجل برغي واحد

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

من أجل برغيين

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

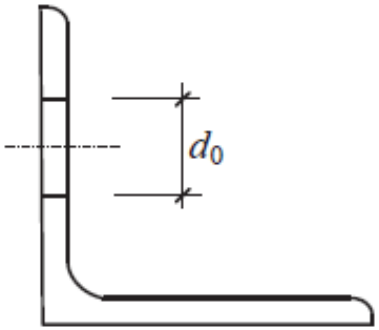
من أجل 3 لراغي أو أكثر

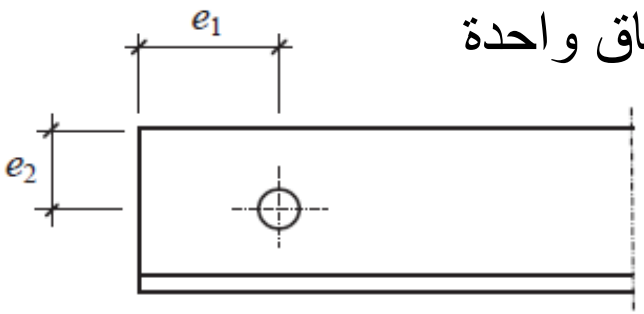
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}. \quad \text{(3 bolts or more)}$$

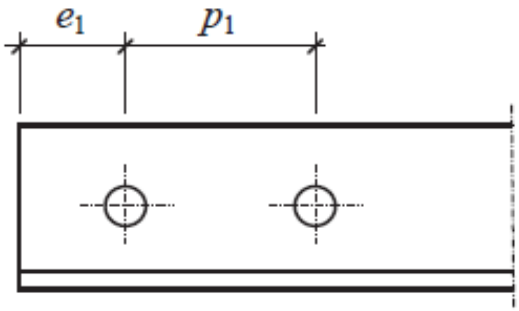
عوامل التخفيض β_2 β_3

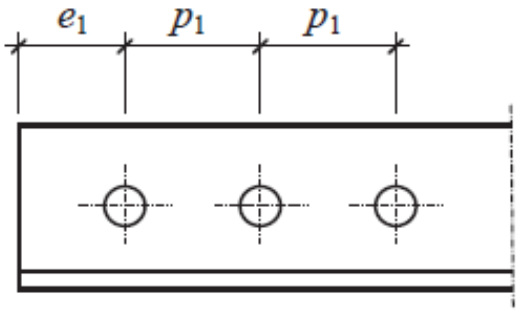
Distance	p_1	$\leq 2.5\ d_0$	$\geq 5.0\ d_0$
2 bolts	β_2	0.4	0.7
3 bolts or more	β_3	0.5	0.7

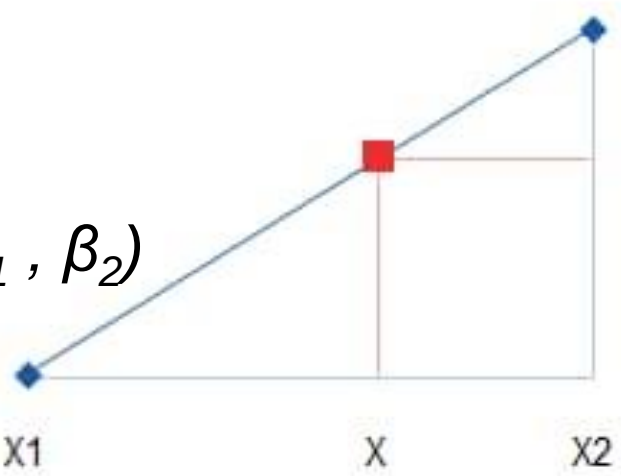
زويا متصلة بساق واحدة











حساب عوامل التخفيض β_2 بالتوسيط الداخلي

$$\frac{(X - X1)}{(X2 - X1)} = \frac{(Y - Y1)}{(Y2 - Y1)}$$

$$Y = Y1 + (X - X1)\frac{(Y2 - Y1)}{(X2 - X1)}$$

Y=Y1+(X-X1) (Y2-Y1)/(X2-X1)

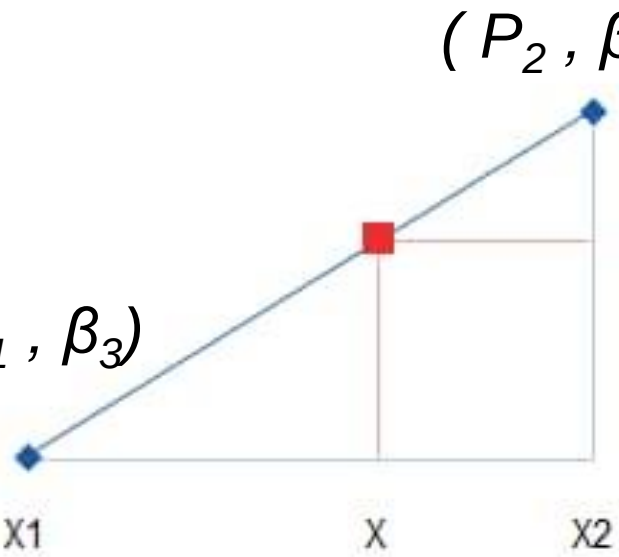
(P-2.5d0)/(2.5d0)=(β_2 -0.4)/(0.3)

$\beta 2$ = 0.4+(P-2.5d0) (0.7- 0.4)/(2.5d0)

P_1=70mm **d_o=17mm**

$\beta 2$ = 0.4+(70-2.5x17) (0.7- 0.4)/(2.5x17)

(β_2=0.594)



$$\frac{(X - X1)}{(X2 - X1)} = \frac{(Y - Y1)}{(Y2 - Y1)}$$

$$Y = Y1 + (X - X1)\frac{(Y2 - Y1)}{(X2 - X1)}$$

Y=Y1+(X-X1) (Y2-Y1)/(X2-X1)

(P-2.5d0)/(2.5d0)=(β_3 -0.5)/(0.2)

β3 = 0.5+(P-2.5d0) (0.7- 0.5)/(2.5d0)

P_1=30mm **d_o=22mm**

β3 = 0.5+(P-2.5d0) (0.7- 0.5)/(2.5d0)

{β_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 اهمال 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 تقريبيا من العلاقة:

ويمكن حساب ذلك تقريبيا من العلاقة

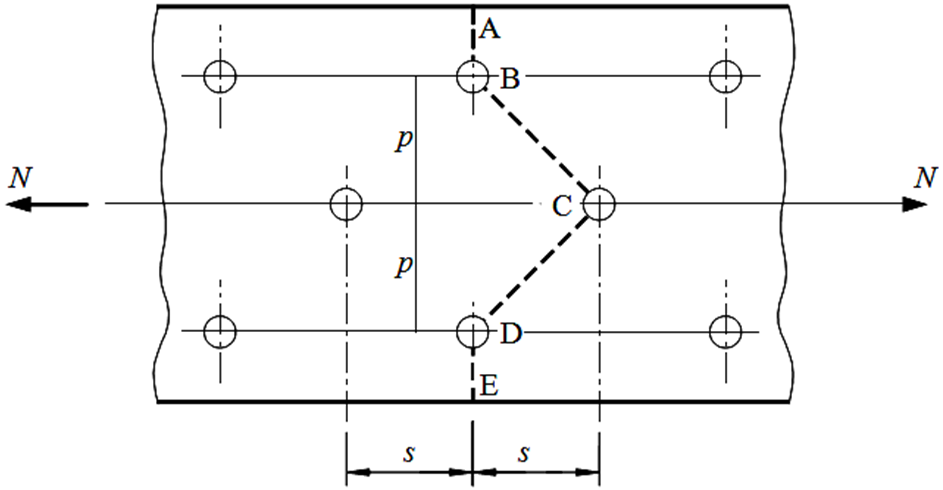
If S < Sm ------> calculate A_h

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

حيث:

$$A_h = d_0 t(1 - s^2/4pd_0),$$

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



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 *Anet* *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 التصميميه 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 افتراضيا القيمة 1.0، او حسب القيم المعطاة.

- تعطى المقاومة الحدية (حالة حد الانهيار) للمقطع العرضي الحاوي على ثقوب

في كود $EC3$ كمايلي (العامل γ_{M2} يأخذ افتراضيا القيمة 1.1):

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

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 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

Worked examples أمثلة عملية

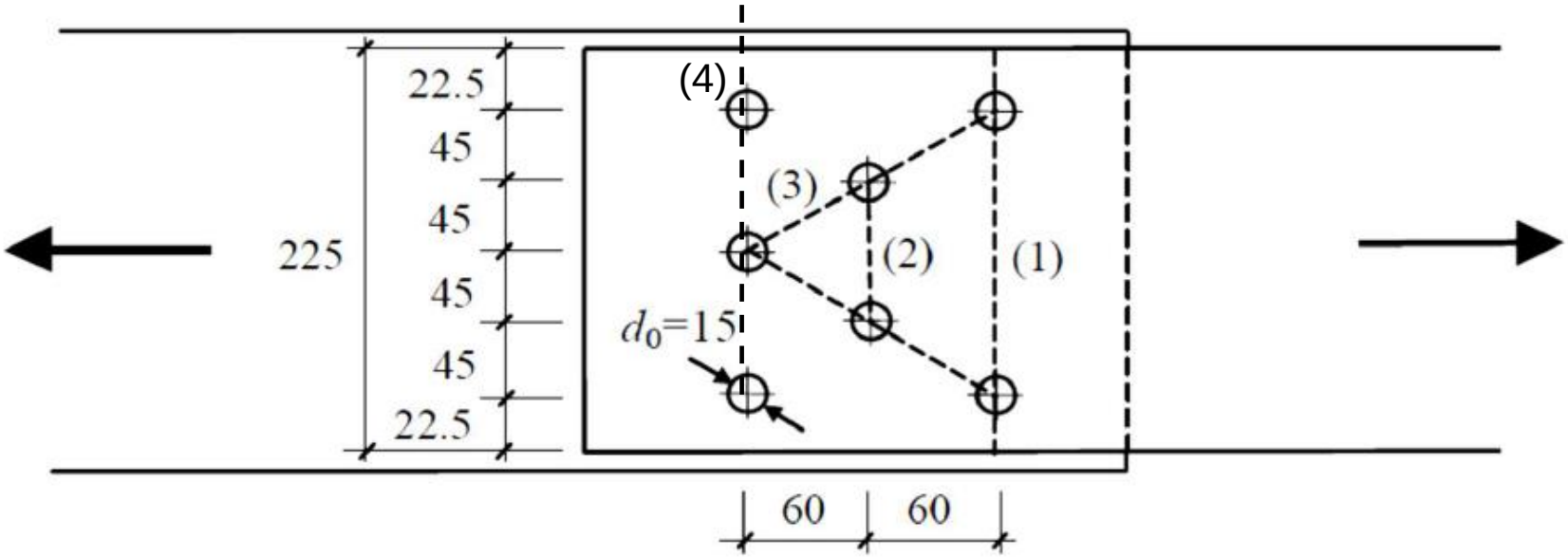
Example 2.1:

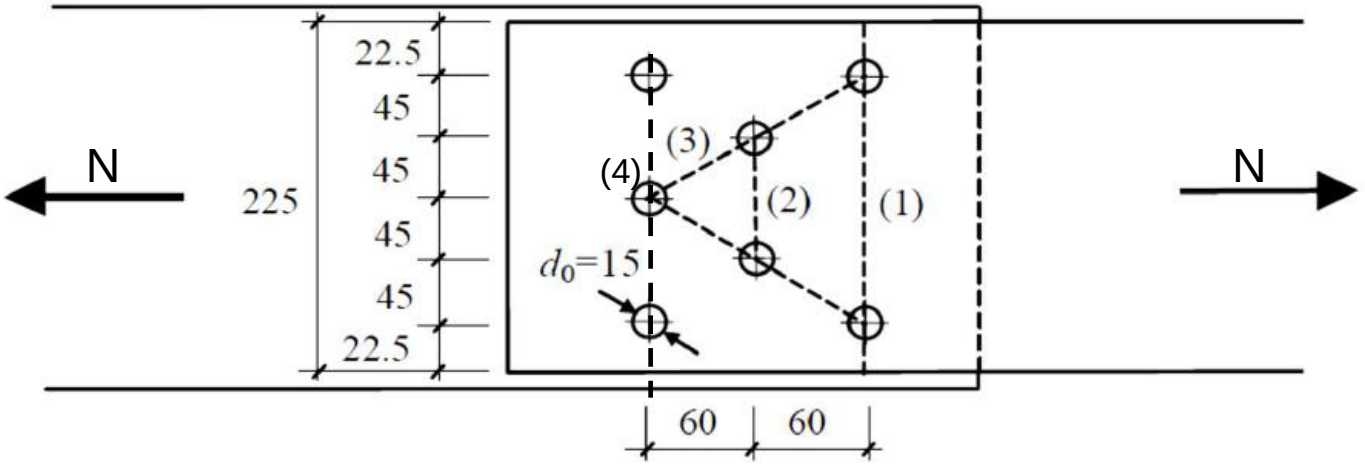
1- Calculate the net area *Anet* of the bolted section of the plate represented in Figure. Assume a plate with thickness *t=10 mm* and the remaining dimensions (in *mm*), as indicated in Figure

2- Determine the design tensile strength of the plat (f_y=250MPa, f_u=420 Mpa)

3- Detemine the Efficiency of the plate with holes

4- Find thickness of the plate to resist design load $N_{t,Ed}$ =750 kN





- Taking fracture section1-3 into Account, We get

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

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

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, $A_{net} = 195\,t$.

- Taking fracture section4 into Account, We get

Fracture section 4 $A^{(4)}{}_{net} = 225 \times t - 3 \times t \times 15 = 180t$

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

2- Determine the design tensile strength of the plat

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

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

$$N_{pl,Rd}=(225x\ t)x250/(1x1000)=56.25\ t = 562.5\ kN$$

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

$$N_{u,Rd}=(0.9x180x\ t)x420/(1.1x1000)=61.85\ t = 618.55\ kN$$

Therefore

$$N_{t,Rd} = min\ \{N_{u,Rd}\ N_{pl,Rd}\}=56.25\ t =562.5\ kN$$

3- Determine the Efficiency of the plate with holes

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

4- Determine the Thickness of the plate

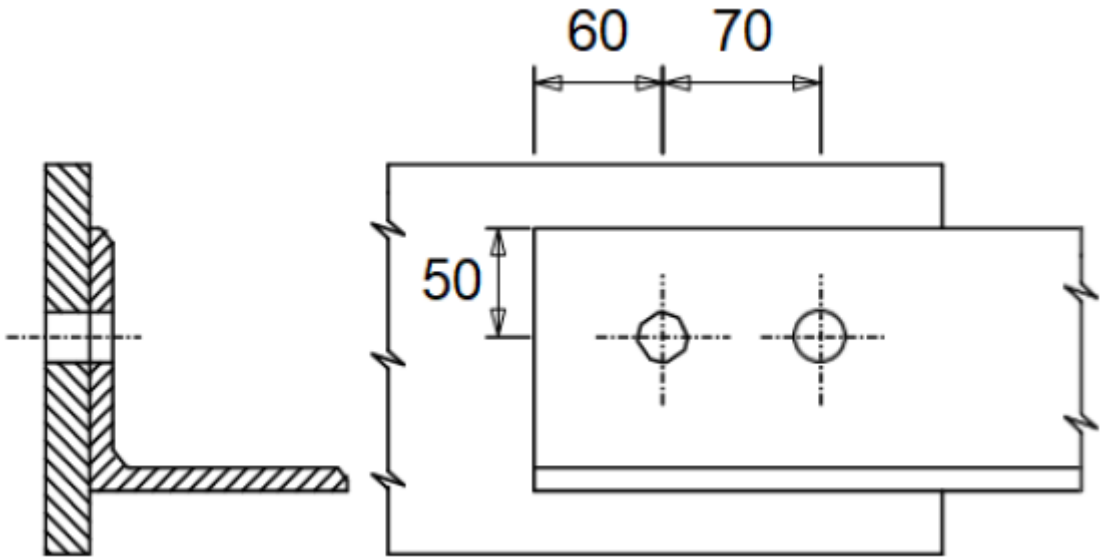
$$N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$750=56.25t \text{ ---}\rightarrow\ t = 13.33\ mm \text{ -}\rightarrow take\ t = 14\ mm$$

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=16mm) bolts in standard holes (d_o=17mm) 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: $f_y = 235\ N/mm^2$ $f_u = 360\ N/mm^2$ $A = 23.2\ cm^2$.



Solution:

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

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

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

$p_1 = 70\ mm \rightarrow\rightarrow 2.5d_\circ = 42.5\ mm\ \&\ 5d_\circ = 85mm \rightarrow\rightarrow$

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

$\rightarrow\rightarrow \beta_2 = 0.594$

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

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

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

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

Example 2.3

Design check of an equal angle 150×150×10 for an axial factored tensile force 300 KN using steel grade S275 connected (d_o=22mm) using:

(a) Welded (b) One bolt (c) Two bolts (d) Three bolts

Solution:

$f_y = 275\ N/mm^2$, $f_u = 430\ N/mm^2$, $A = 29.3\ cm^2$

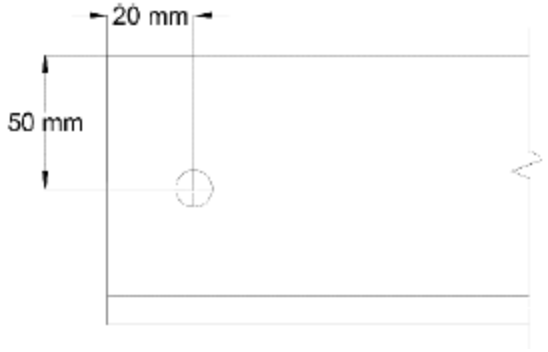
(a) Welded

$$N_{pl,Rd} = \frac{A\,f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{29.3 \times 10^2 \times 275 \times 10^{-3}}{1.0} = 805.75\ KN > 300\ KN\ Ok.$$

(b) One bolt

$$N_{u,Rd} = \frac{2.0(e_2 - 0.5d_o)tf_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2(50-0.5\times22)\times10\times430\times10^{-3}}{1.25} = 268.32\ KN$$

$< 300\ KN\ Not\ Ok.$ **300/268.32 =1.11**



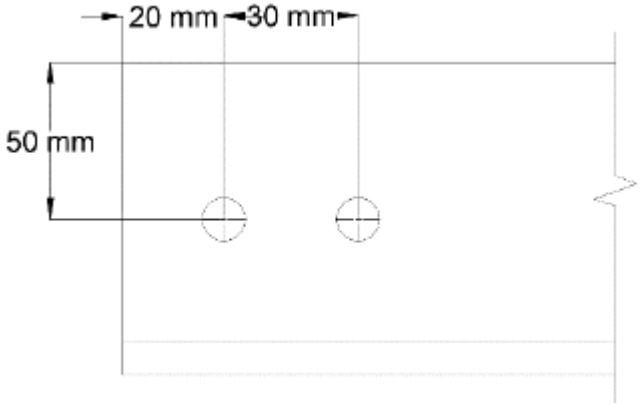
Try increase thickness or distance *e*2

(c) Two bolts

$$A_{net} = 29.3 \times 10^2 - (22 \times 10) = 27.10 \times 10^2\ mm^2$$

$$p_1 = 30\ mm \rightarrow\rightarrow 2.5d_\circ = 55\ mm\ \&\ 5d_\circ = 110\ mm \rightarrow$$

$$\beta_2 = 0.4$$



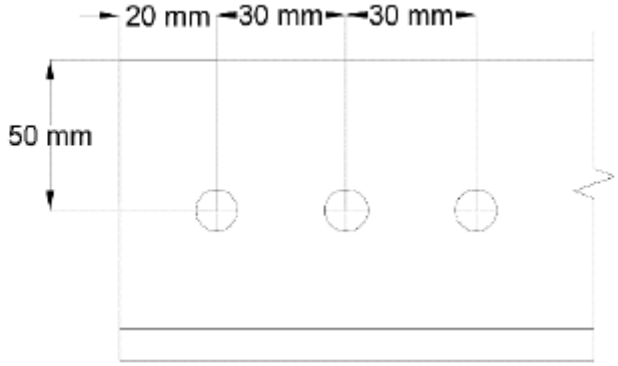
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net}\, f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.4 \times 27.10 \times 10^2 \times 430 \times 10^{-3}}{1.25} = 372.9\ KN > 300\ \text{KN Ok}$$

(d) Three bolts

$$A_{net} = 29.3 \times 10^2 - (22 \times 10) = 27.10 \times 10^2\ mm^2$$

$$p_1 = 30\ mm \rightarrow\rightarrow 2.5d_\circ = 55\ mm\ \&\ 5d_\circ = 110\ mm \rightarrow$$

$$\beta_3 = 0.5$$



$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net}\, f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.5 \times 27.10 \times 10^2 \times 430 \times 10^{-3}}{1.25} = 466.1\ KN > 300\ \text{KN Ok}$$

Note/ by increase the number of bolts the design capacity increases too.

Example 2.4

A UB 610 x 229 x 125 tension member of S355 steel is connected through both flanges by 20 mm bolts (in 22 mm diameter bolt holes) in four lines, two in each flange as shown in the Figure . Check the member for a design tension force of $N_{t,Ed}$ = 4000 KN.

Solution:

$t_f = 19.6\ mm\ , f_y = 345\ ^N/_{mm^2}\ , f_u = 490\ ^N/_{mm^2}\ , A = 159\ cm^2$

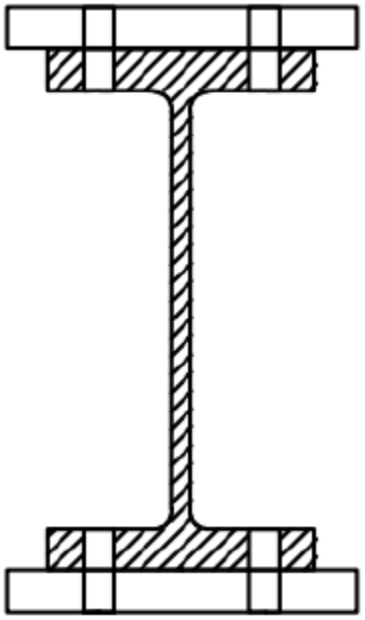
$$N_{pl,Rd} = \frac{A\ f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{159 \times 10^2 \times 345}{1.0} \times 10^{-3} = 5485.5\ KN$$

$$A_{net} = 159 \times 10^2 - 4 \times (22 \times 19.6) = 14175.2\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net}\ f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 14175.2 \times 490}{1.25} \times 10^{-3} = 5001\ KN$$

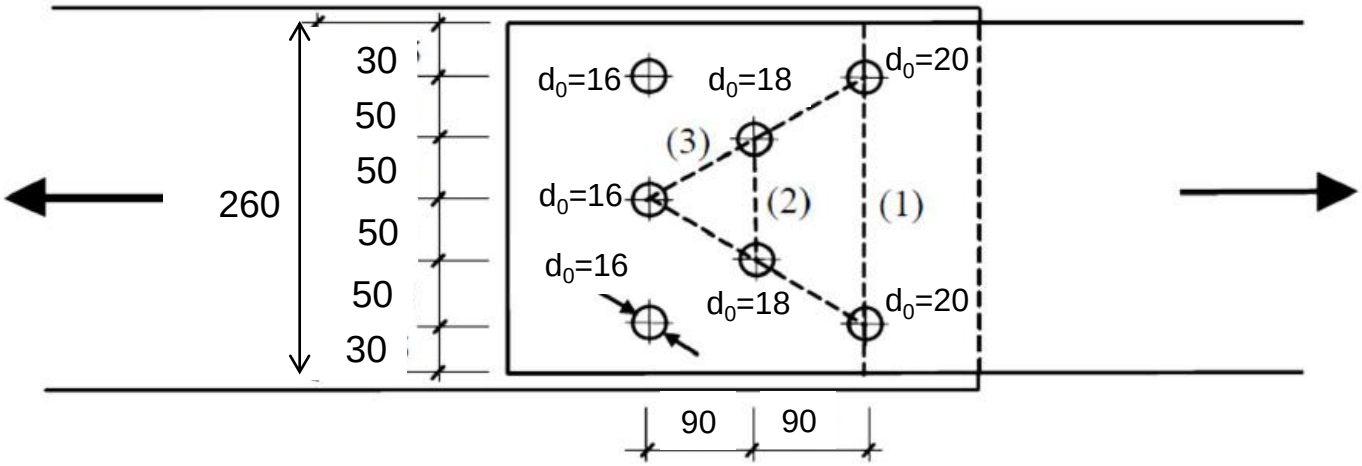
$$N_{t,Rd} = 5001\ KN\ (the\ lesser\ of\ N_{pl,Rd}\ and\ N_{u,Rd}) > 4000\ KN.$$

So, the member is satisfactory. **4000/5001 = 0.8**



Home Work 1

1- Calculate the net area *Anet* of the bolted section of the plate represented in Figure. Assume a plate with thickness *t=12 mm* and the remaining dimensions (in *mm*), as indicated in Figure
2- Determine the design tensile strength of the plat (*S355*)
3- Detemine the Efficiency of the plate with holes
4- Find thickness of the plate to resist design load $N_{t,Ed}$ =900 kN



Homework 2

Design unequal angle connected from the long leg loaded with an axial factored tensile force 580 KN using steel grade S355 connected using:

(a) Welded (b) Two bolts (do=15mm, 18mm)