

المنشآت المعدنية

الفصل الصيفي

2024-2025

أ.د. نايل محمد حسن

- ✓ المحاضرة الأولى-الثانية : مفاهيم أساسية
- ✓ المحاضرة الثالثة: أساسيات المنشآت الفولاذية
- المحاضرة الرابعة: العناصر الخاضعة للشد центральный**

المحاضرة الرابعة: العناصر الخاضعة للشد المركزي

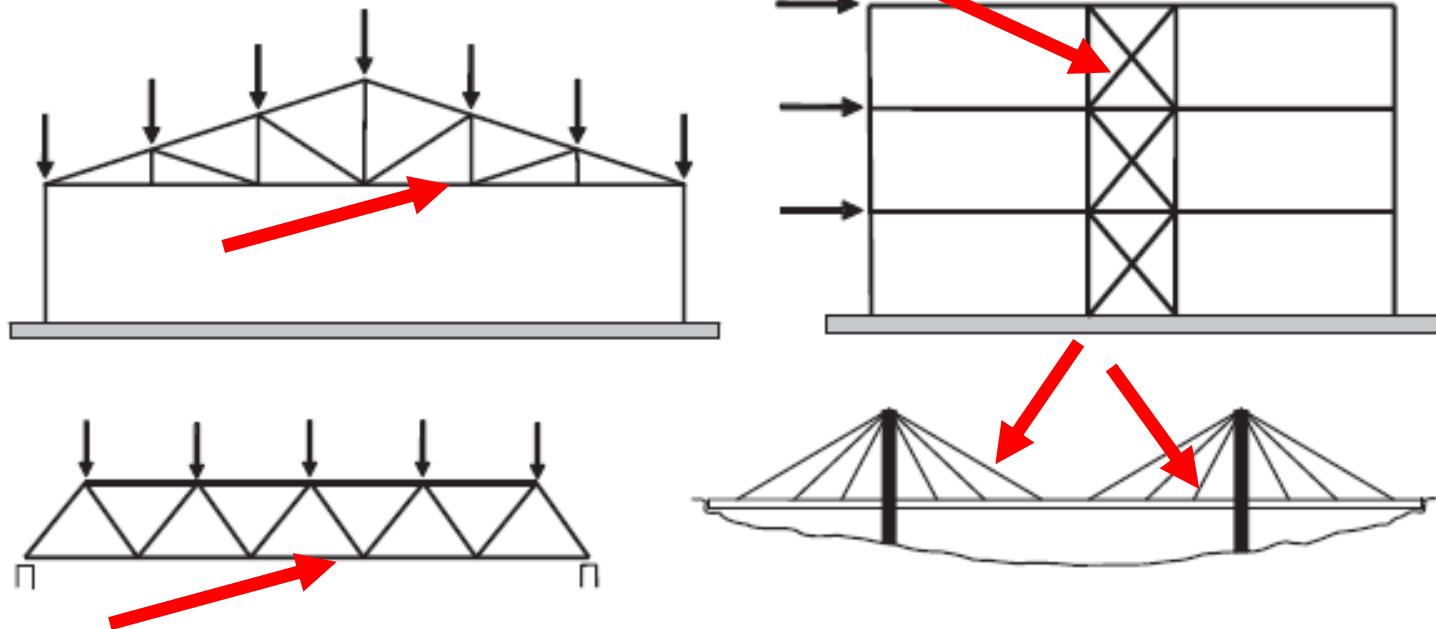
(عناصر الشد) Tension Members

1-2 - مقدمة

- تعتبر العناصر التي تخضع لقوى شادة مؤثرة مركزياً **أبسط العناصر الإنسانية**،
- تكون نظرياً في حالة **إجهاد محوري منتظم**، ولذلك تسمى عناصر الشد.
- في هذه الحالة، يكون سلوك القوة – تشوه مشابه بشكل كبير لسلوك **الإجهاد – تشوه للفولاذ الإنساني** الذي يتم الحصول عليه من نتائج اختبارات الشد
- خلال التحميل يبقى العنصر بشكل أساسي **خطي ومن** حتى يتم الوصول إلى **حملة الخضوع** العامة، حتى لو كان لديه إجهادات متبقية وتشوهات أولية.

1-2 - مقدمة

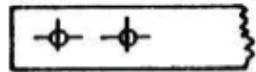
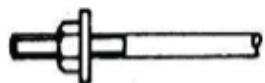
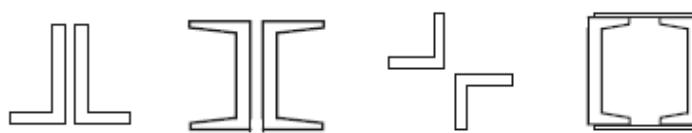
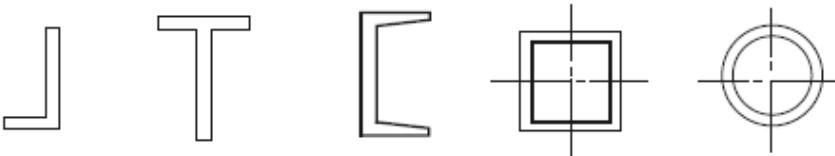
- في كثير من الحالات لا تخضع عناصر الشد لقوى مركزية، ويمكن أن **تُخْضَع لحمولات عرضية**، تنتج أفعال (جهود) انعطاف وأيضاً أفعال شد محورية.
- تهم إجراءات التصميم **ببساطة أفعال الانعطاف** في بعض العناصر التي تملك اتصالات لامركزية، لكن بصفة عامة يجبأخذ أفعال الانعطاف بالاعتبار في التصميم.
- تملك عناصر الشد غالباً إجهادات متوسطة عالية نسبياً، وفي بعض الحالات تكون **تأثيرات تركز الإجهادات الموضعية كبيرة** يجب في مثل هذه الحالات أن يتم تقليل آثار تركز الجهادات، ويجب تقدير الإجهادات الموضعية **وأخذها بالاعتبار**.



انشاءات تحوي عناصر شد Structures with some members in tension

المقاطع العرضية لعناصر الشد

Typical cross sections
of members in tension



2-2-عناصر الشد المحمولة مركزياً

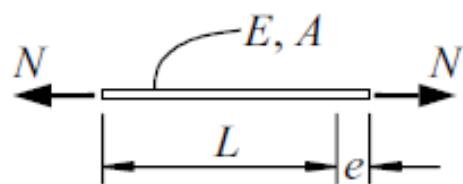
Concentrically loaded tension members

1-2-2 العناصر من دون ثقوب

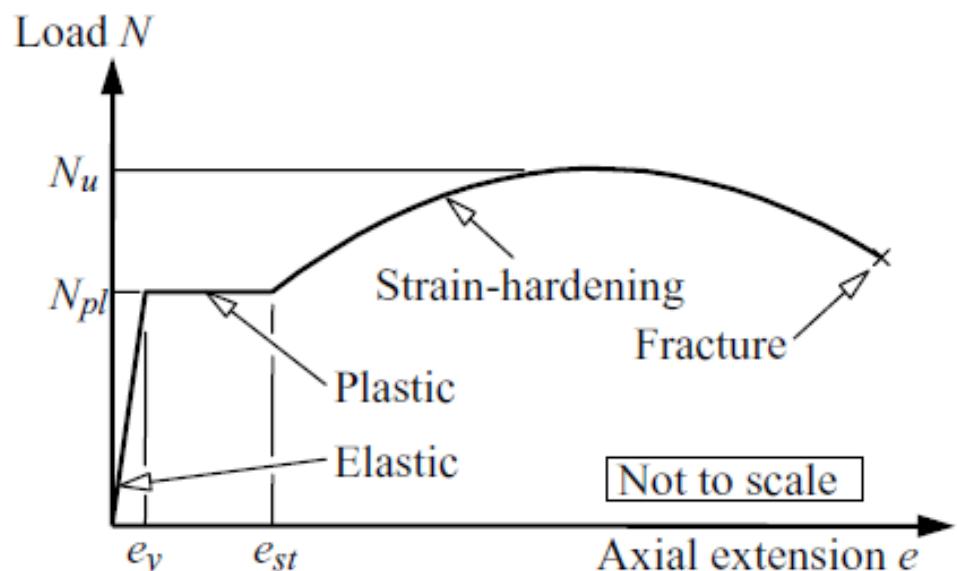
Members without holes 2-2-2 العناصر ذات ثقوب كبيرة

1-2-2 العناصر من دون ثقوب Members without holes

يبين الشكل عنصر شد فولاذی لا يحوي ثقوب ولا يملك إجهادات متبقية
محمول بشكل مركزي



(a) Tension member



(b) Axial extension e

تكون علاقة التطاول المحوري e للعنصر المتعلقة بـ N مشابهة لعلاقة التشوه المتوسط $e/L = \epsilon$ المتعلقة بـ الإجهاد المتوسط $N/A = \sigma$. هكذا يزداد التطاول في البداية بشكل خطٍ مع الحمولة وهو يساوي

$$e = \frac{NL}{EA}, \quad (2.1)$$

حيث E عامل يونغ للمرونة. يستمر هذا التزايد الخطٍ حتى يتم الوصول لإجهاد الخضوع للفولاذ f_y عند حمولة الخضوع (الدونة) التالية:

$$N_{pl} = Af_y \quad (2.2)$$

يزداد التطاول دون زيادة بالحمولة (أو عند زيادة صغيرة جداً) وتبُدأ مرحلة التصلب التشوهي. بعد ذلك، تزداد الحمولة ببطء حتى يتم الوصول إلى القيمة الأعظمية

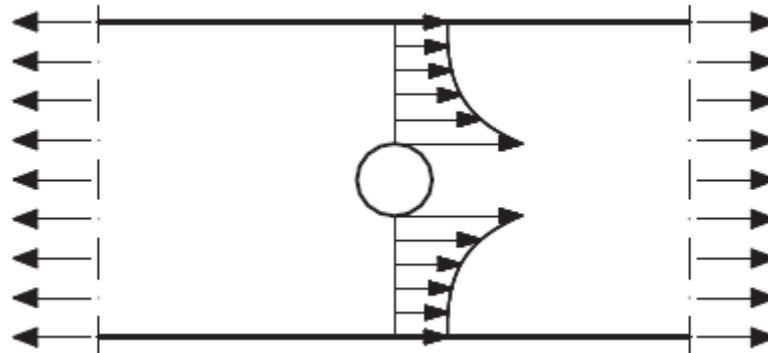
$$N_u = Af_u \quad (2.3)$$

(بعد ذلك يظهر يضيق (يظهر عنق) المقطع العرضي موضعياً وتتناقص الحمولة N حتى يحدث الانقطاع.)

- يوصف سلوك عنصر الشد بأنه **مطاوع**,
- أي أنه يصل لحمولة الخضوع العامة ويحافظ عليها في الوقت الذي تحدث فيه تطاولات كبيرة قبل أن يتم الانقطاع.
- عادة تعرف حمولة الخضوع N_{pl} بأنها **الحمولة التصميمية** (قدرة التحمل التصميمية) للعنصر.

2-2-3 العناصر ذات ثقوب كبيرة Members with significant holes

عندما تكون الثقوب كبيرة، يمكن للعنصر أن ينهار قبل الوصول لحمولة الخضوع الكلية N_{pl} بسبب التمزق عند الثقب كما هو مبين في الشكل



تركيز الاجهادات عند الثقب

Concentration of tension next to hole

تحسب حمولة الانقطاع (التمزق) الموضعي N_u :

$$N_u = A_{net} f_u \quad (2.4)$$

على المساحة الصافية من المقطع العرضي A_{net} مقاسة بشكل عمودي على خط عمل القوة، وتعطى بالعلاقة:

$$A_{net} = A - \sum d_0 t, \quad (2.5)$$

- d_0 قطر الثقب،
- t سماكة العنصر عند الثقب،
- ويجري المجموع لكل الثقوب في المقطع العرضي المدروس.
- تحسب حمولة الانقطاع (التمزق) N_u تبعاً للمقطع العرضي الأضعف،
- وبالتالي حسب المساحة الصافية الصغرى A_{net} .
- يكون العنصر الذي ينهاه بالانقطاع قبل الوصول لحمولة الخضوع الكلي غير مطاوع، ويكون هناك تحذير قليل بالانهيار.

3-2 تصميم عناصر الشد

1-3-2 عناصر الشد المحمولة مركزياً

تبعد طريقة تصميم المقاومة لعناصر الشد المحمولة مركزياً في كود EC3، حيث تمثل حالي 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

حيث $N_{t,Rd}$ مقاومة الشد التصميمية وهي تؤخذ القيمة الأصغر 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 كما يلي

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

حيث A المساحة الإجمالية للمقطع العرضي،
 و γ_{M0} العامل الجزئي لمقاومة المقطع العرضي، وهو يأخذ القيمة 1.0، او حسب القيم المفروضة

3-2 تصميم عناصر الشد

تعطى المقاومة الحدية (حالة حد الانهيار) للمقطع العرضي
 الحاوي على ثقوب لالمعادلة في كود EC3 كما يلي:

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

- 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 زاوية 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 ($N_u = A_{net,eff} f_u$) :

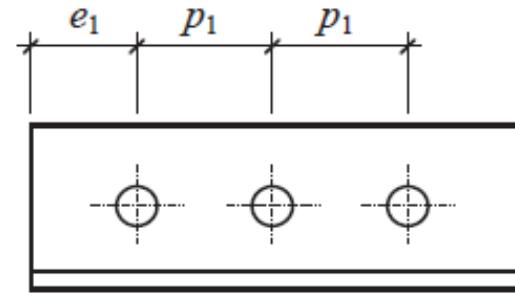
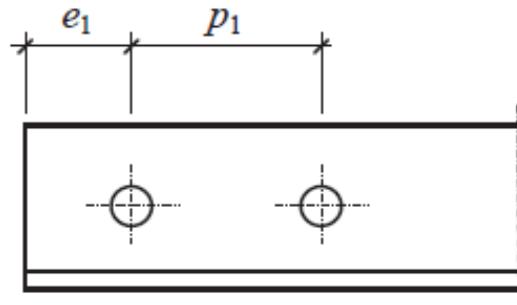
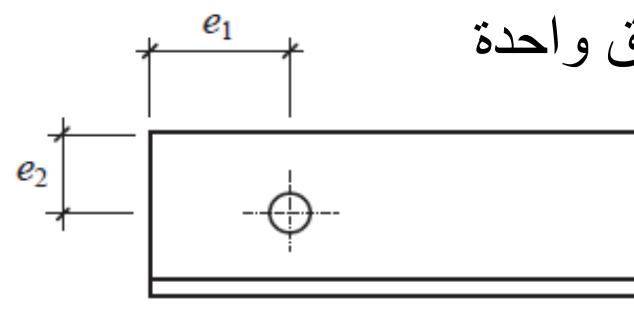
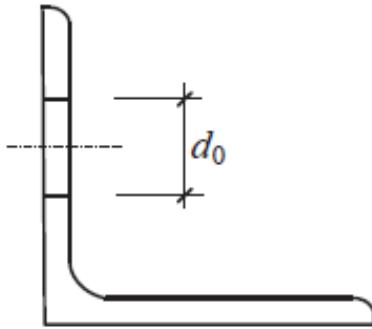
$$N_{u,Rd} = \frac{2.0(e_2 - 0.5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}} ; \quad (1 \text{ bolt}) \quad \text{من أجل برغي واحد}$$

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

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

عوامل التخفيض β_3 β_2

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



- تعرف الرموز الداخلة في المعادلات كما في الشكل،
- و A_{net} هي المساحة الصافية للزاوية.
- تؤخذ A_{net} للزاوية مختلفة الساقين والمتعلقة 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 متعلقة بساقها الأكبر، يمكن اهمال اللامركزية،
- و تؤخذ المساحة الفعالة A_{net} مساوية لمساحة الكلية A

تتحفظ 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 الأصغرى للتعرج s_m الذى 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 تقريبياً من العلاقة:

ويمكن حساب ذلك تقربياً من العلاقة

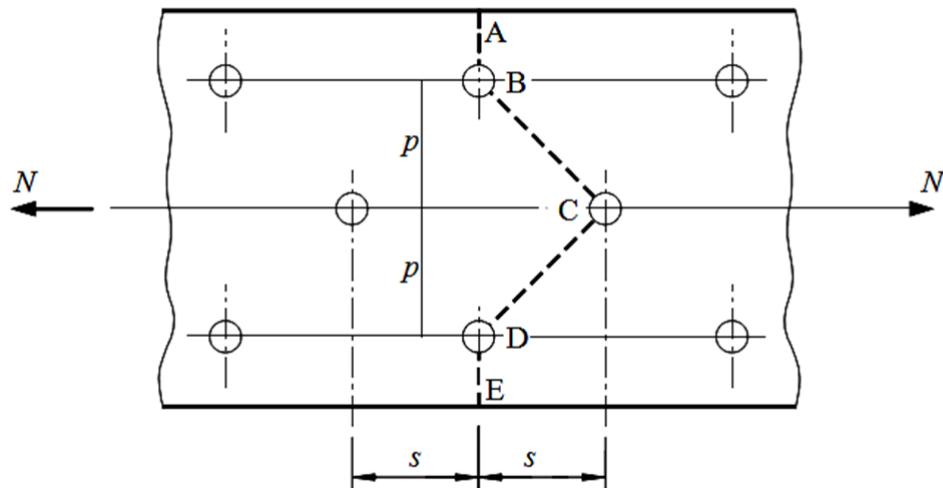
If $S < S_m \longrightarrow \text{calculate } A_h$

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

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

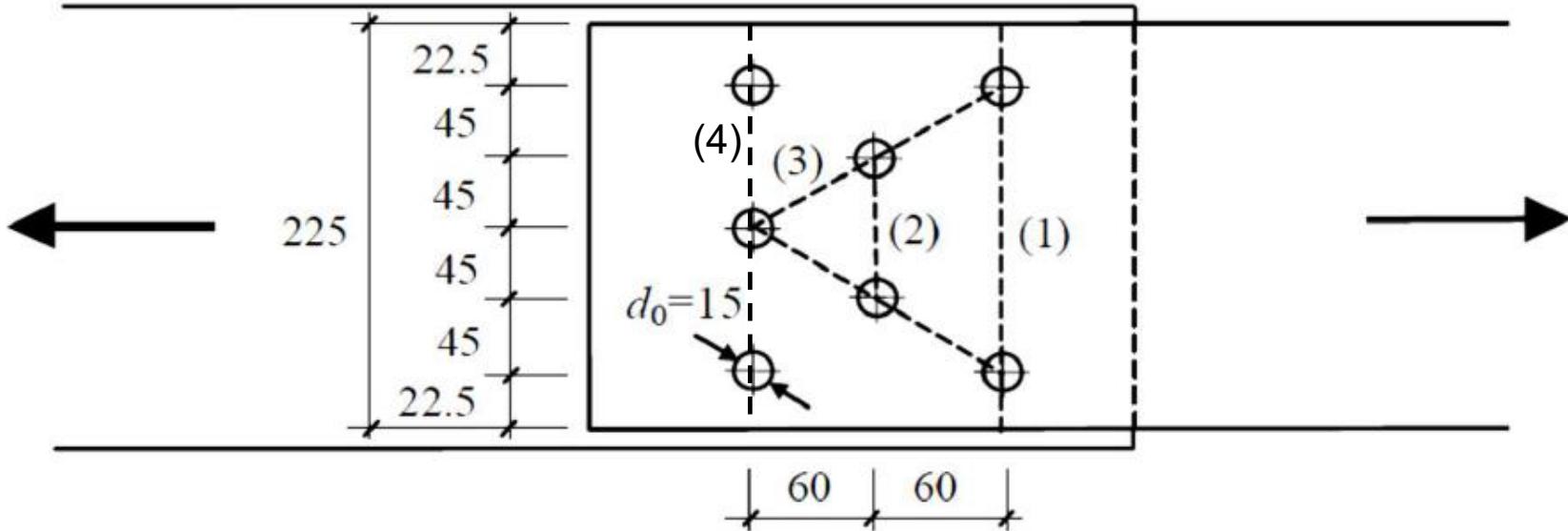
- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتعرج المدروس ولكل مسافات التعرج في المسار.
- سمح كود EC3 في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N/A_{net} الذي تم مناقشه أعلاه.

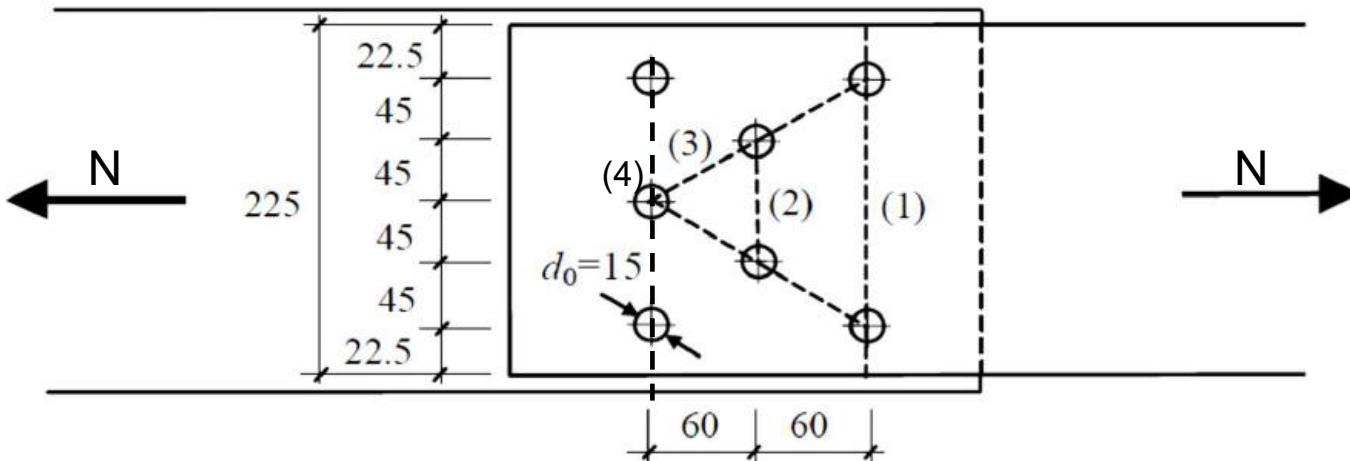
- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتدرج المدروس ولكل مسافات التدرج في المسار.
- سمح كود EC3 في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N/A_{net} الذي تم مناقشه أعلاه.

أمثلة عملية

Worked examples

Example 2.1: Calculate the net area A_{net} of the bolted section of the plate represented in Figure. Assume a plate with thickness t and the remaining dimensions (in mm), as indicated in Figure





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

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

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

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

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

- Taking fracture section 4 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, $A_{net} = 180t$

2- Determine the design tensile strength of the plate

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

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

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

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

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

Therefore

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

3- Determine the Efficiency of the plate with holes

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