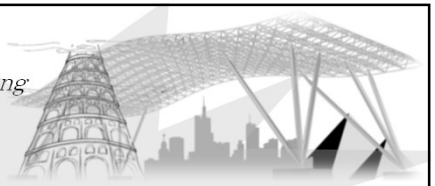
Hama University
Faculty of Civil Engineering
Department of Structural Engineering
Structural Mechanics 1



Lecture 2

Analysis of Indeterminate Structures
Virtual Work Method -2

طريقة العمل الوهمي في تحليل المنشآت الغير مقررة

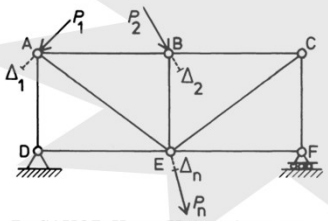
By: Dr. Mhmoud SAUOD
Head of Structural Engineering Department

- مقدار الانتقال الحاصل في النقطة المطلوبة: $y = \int \frac{N_0 N_1}{EA} \Delta l$.
- مقدار التشوه المحوري في العنصر الشبكي الناتج عن القوى المحورية: $\delta_0 = \frac{N_0 \Delta l}{EA}$
- مقدار التشوه المحوري في العنصر الشبكي الناتج عن التغيرات الحرارية: $\delta_0 = \alpha . \Delta l . T$
- مقدار التشوه المحوري في العنصر الشبكي الناتج عن سوء التصنيع: $\delta_0 = e$
- يتم إضافة التشوهات السابقة إلى معادلات العمل الوهمي كتشوه مستقل :

$$\delta_{01} + \delta_{11} . x_1 + \Delta = 0$$

دراسة الجوائز الشبكية Trusses

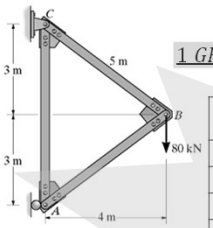
- الجوائز الشبكية عبارة عن مجموعة من العناصر المتصلة مع بعضها البعض. ويتم تصميمها لمقاومة القوى المحورية فقط (شد- ضغط).
- يجب أن يحقق عدد عناصر الشبكي العلاقة التالية ليكون مقرر داخلياً: $m = 2J - 3$: m عدد عناصر الشبكي، J عدد عقد الشبكي(كل عقدة من الجائز الشبكي لها معادلتي توازن فقط مع وجود 3 ردود أفعال للمساند الخارجية).
- عندما يخضع الجائز الشبكي لمجموعة من الحمولات الخارجية المطبقة على العقد، ينشأ في عناصر الشبكي إجهادات محورية شادة أو ضاغطة تسبب التشوه المحوري لهذه العناصر . قيمة التشوهات المحورية تتعلق بقيمة الإجهادات في هذه العناصر .
- تتعرض عقد الشبكي لانتقالات أفقية و شاقولية ويمكن تطبيق نظرية العمل الوهمي في حساب هذه الانتقالات.
- بفرض أن .... N_{01}, N_{02}, N_{03} القوى المحورية في عناصر الشبكي المقرر تحت تأثير الحمولات الخارجية.
- بفرض أن .... N_{11}, N_{22}, N_{33} القوى المحورية في عناصر الشبكي المقرر تحت تأثير الحمولات الواحدية تبعاً للمساند الإضافية.



الأفكار الرئيسية

- حساب الانتقالات الأفقية و الشاقولية
- حالات عدم التقرير الداخلي
- حالات عدم التقرير الخارجي
- التغيرات الحرارية
- سوء الصنع

EXAMPLE



للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب مقدار الانتقالين الأفقي و الشاقولي للعقدة B؟

$1\ GPa = 10^6\ kN/m^2$

$A = 300\ mm^2$

$E = 200\ GPa$

ANSWER

العنصر	ΔL	A	N_0	N_1	N_2	$\frac{N_0 N_1 \Delta L}{EA}$	$\frac{N_0 N_2 \Delta L}{EA}$
A·B	500	A	·66.67	·0.8333	0.625	277.78	·208.33
B·C	500		66.67	0.8333	0.625	277.78	208.33
A·C	600		40	0.5	·0.375	120	·90
المجموع						675.56/EA	·90/EA

نحسب N_0 بدلالة الحمولات الخارجية فقط. نحسب N_1 القوى المحورية بعد تطبيق واحدة القوى الشاقولية عند B للأسفل، نحسب N_2 القوى المحورية بعد تطبيق واحدة القوى الأفقية عند B لليمين،

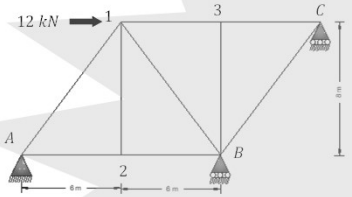
$$\delta_{BV} = \sum \frac{N_0 . N_1 . \Delta L}{EA} = \frac{-90 \times 10^3}{300 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^9} = 0.01126\ m = 11.3\ mm\ \downarrow$$

$$\delta_{BH} = \sum \frac{N_0 . N_2 . \Delta L}{EA} = \frac{675.56 \times 10^3}{300 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^9} = -0.0015\ m = 1.5\ mm\ \leftarrow$$

الجوائز الشبكية الغير مقررة

- قد تكون الجوائز الشبكية غير مقررة داخلياً، خارجياً أو كلاهما معاً.
- بتطبيق العلاقة التالية يمكن تحديد درجة عدم التقرير الداخلي: $m + r = 2J + X$
- m: عدد عناصر الشبكي، r: عدد المساند الخارجية، J: عدد عقد الشبكي، X: مجموع درجات عدم التقرير الداخلي و الخارجي للشبكي.

حالة الجوائز الشبكية الغير مقررة خارجياً

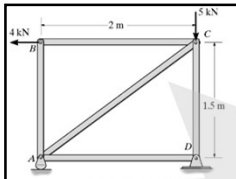


EXAMPLE

للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب مقدار الانتقال الأفقي للعقدة 1؟

ANSWER

الشبكي غير مقرر خارجياً من الدرجة الأولى. نحذف المسند عند C ونوجد قيمة رد الفعل الإضافي $R_C = 3.074\ kN \uparrow$. ثم نحسب القوى المحورية في عناصر الشبكي بوجود القوة الخارجية المطبقة N_0. ونحسب القوى المحورية تحت تأثير واحدة القوى في العقدة 1 بدون قوى خارجية N_1.



EXAMPLE

للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب مايلي:

قيمة الانتقال الأفقي للعقدة B؟

قيمة الانتقال الشاقولي للعقدة C؟

$A = 400\ mm^2$

$E = 200\ GPa$

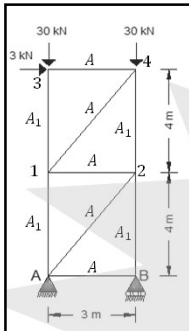
ANSWER

نحسب N0 بدلالة الحمولات الخارجية فقط. نحسب N1 القوى المحورية بعد تطبيق واحدة القوى الأفقية عند B لليسار، نحسب N2 القوى المحورية بعد تطبيق واحدة القوى الشاقولية عند C للأسفل،

$$\delta_{BH} = \sum \frac{N_0.N_1.\Delta L}{EA} = \frac{29.375 \times 10^3}{400 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^9} = 0.3672 \times 10^{-3} m = 0.367\ mm \leftarrow$$

$$\delta_{CV} = \sum \frac{N_0.N_2.\Delta L}{EA} = \frac{3 \times 10^3}{400 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^9} = 37.5 \times 10^{-6} m = 0.0375\ mm \downarrow$$

العنصر	ΔL	A	N_0	N_1	N_2	$\frac{N_0 N_1 \Delta L}{EA}$	$\frac{N_0 N_2 \Delta L}{EA}$
A·B	1.5	A	0	0	0	0	0
A·C	2.5		·5	·1.25	0	15.625	0
A·D	2		4	1	0	8	0
B·C	2		4	1	0	8	0
C·D	1.5		·2	0.75	·1	·2.25	3
المجموع						29.375/EA	3/EA



EXAMPLE

للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب مقدار الانتقالين الأفقي و الشاقولي للعقدة 4؟

$A_1 = 2A$

ANSWER

نلاحظ أن الشبكي مقرر داخلياً: $m = 2J - 3: \quad 9 = 2 \times 6 - 3$

باعتماد طريقة تحليل العقد يمكن إيجاد القوى في عناصر الشبكي المقرر تحت تأثير الحمولات الخارجية N_0.

العنصر	ΔL	A	N_0	N_1	N_2	$\frac{N_0 N_1 \Delta L}{EA}$	$\frac{N_0 N_2 \Delta L}{EA}$
A·1	400	2A	·26	0	4/3	0	·0.1733
1·3	400		·30	0	0	0	0
B·2	400		·38	·1	·8/3	0.19	0.5056
2·4	400		·34	·1	·4/3	0.17	0.2267
A·B	300	A	0	0	0	0	0
1·2	300		·3	0	·1	0	0.0225
3·4	300		·3	0	0	0	0
A·2	500		5	0	5/3	0	0.1042
1·4	500		5	0	5/3	0	0.1042
المجموع						0.36/EA	0.791/EA

الانتقال الأفقي للعقدة 4	X_4	Y_4	الانتقال الشاقولي للعقدة 4

العنصر	ΔL Cm	A Cm^2	N_0	N_1	$\frac{N_0 N_1 \Delta L}{EA}$
A·1	1000	A	8.078	5/6	6731.667
1·3	800		0	0	0
B·1	1000		·8.078	·5/6	6731.667
B·2	800		0	0	0
C·B	1000		3.843	0	0
C·2	600		·2.306	0	0
2·1	600		·2.306	0	0
B·3	600		7.153	0.5	2145.9
A·3	600		7.153	0.5	2145.9
المجموع					17755.13/EA

$$\delta_1 = \frac{17755.13}{EA} \rightarrow$$

4) كتابة معادلات العمل الوهمي:

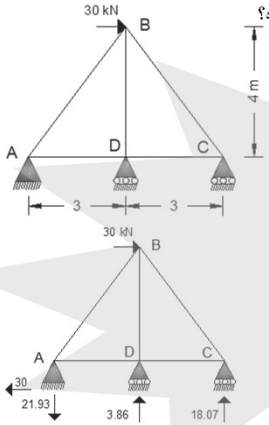
$$\delta_{01} + \delta_{11}.x_1 + \delta_{12}.x_2 + \delta_{13}.x_3 = 0$$
$$\delta_{02} + \delta_{21}.x_1 + \delta_{22}.x_2 + \delta_{23}.x_3 = 0$$
$$\delta_{03} + \delta_{31}.x_1 + \delta_{32}.x_2 + \delta_{33}.x_3 = 0$$

5) نحل جملة المعادلات، ونحسب قيم المجاهيل x1,x2,x3. وبذلك يتم حساب القوى المحورية النهائية في عناصر الشبكي كما يلي:

$$N_{Final} = N_0 + N_1.x_1 + N_2.x_2 + N.x_3$$

EXAMPLE للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب القوى المحورية في عناصره؟

ANSWER الشبكي غير مقرر خارجياً من الدرجة الأولى.



العنصر	ΔL Cm	A Cm^2	N_0	N_1	$\frac{N_0N_1\Delta L}{EA}$	$\frac{N_1N_1\Delta L}{EA}$	N_{final}
A·D	300		0	0.75	0	1.6875	13.55
D·C	300		0	0.75	0	1.6875	13.55
D·B	400	A	·40	2	·320	16	·3.86
A·B	500		50	·1.25	·312.5	7.8125	27.41
C·B	500		0	·1.25	0	7.8125	·22.59
المجموع					·632/EA	35/EA	

نطبق قوة واحدية نحو الأعلى في موضع المسند المزال C. $\delta_{01} + \delta_{11}.x_1 = 0$

$$x_1 = \frac{632}{35} = 18.07 \uparrow kN$$

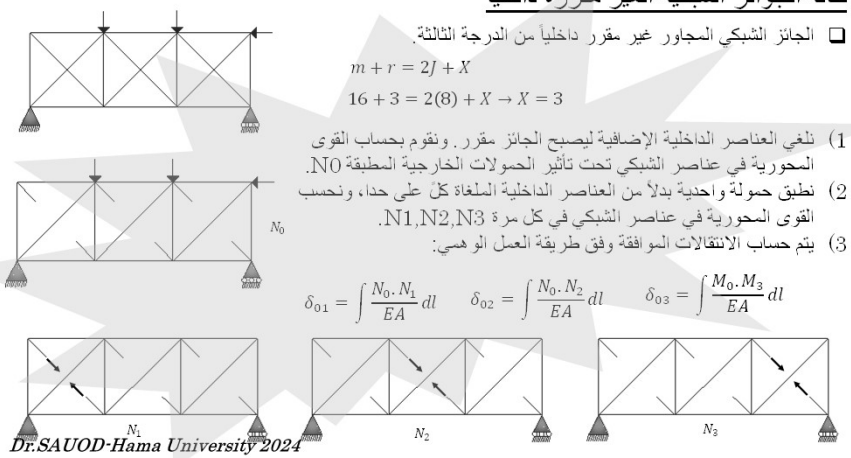
حالة الجوائز الشبكية الغير مقررة داخلياً

❑ الجائز الشبكي المجاور غير مقرر داخلياً من الدرجة الثالثة.

$$m + r = 2J + X$$
$$16 + 3 = 2(8) + X \rightarrow X = 3$$

1) نلغي العناصر الداخلية الإضافية ليصبح الجائز مقرر. ونقوم بحساب القوى المحورية في عناصر الشبكي تحت تأثير الحمولات الخارجية المطبقة N0.
2) نطبق حمولة واحدية بدلاً من العناصر الداخلية الملغاة كل على حدا، ونحسب القوى المحورية في عناصر الشبكي في كل مرة N1,N2,N3.
3) يتم حساب الانتقالات الموافقة وفق طريقة العمل الوهمي:

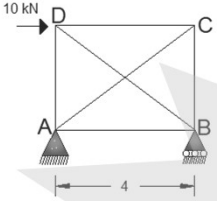
$$\delta_{01} = \int \frac{N_0.N_1}{EA} dl \qquad \delta_{02} = \int \frac{N_0.N_2}{EA} dl \qquad \delta_{03} = \int \frac{M_0.M_3}{EA} dl$$



EXAMPLE للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب القوى المحورية في عناصره؟

ANSWER الجائز غير مقرر داخلياً من الدرجة الأولى. يوجد ثلاث ردود أفعال فقط فهو مقرر خارجياً.

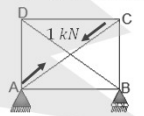
$$m + r = 2J + X \rightarrow 6 + 3 = 2 \times 4 + X \rightarrow X = 1$$



❑ نقرر الجائز بحذف العنصر AC، ونحسب القوى المحورية N_0 في عناصر الشبكي تحت تأثير الحمولات الخارجية فقط بدون العنصر AC.

❑ نحسب القوى المحورية N_1 في عناصر الشبكي بعد إزالة الحمولات الخارجية، وتطبيق قوة محورية واحدية بدلاً عن العنصر AC. (نفرض أنها قوة شد)

العنصر	ΔL	A	N_0	N_1	$\frac{N_0N_1\Delta L}{EA}$	$\frac{N_1N_1\Delta L}{EA}$	N_{ftnal}
A·B	4		10	·0.8	·32	2.56	5
B·C	3		0	·0.6	0	1.08	·3.75
C·D	4	A	0	·0.8	0	2.56	·5
A·D	3		7.5	·0.6	·13.5	1.08	3.75
A·C	5		0	1	0	5	6.25
D·B	5		·12.5	1	·62.5	5	·6.25
المجموع					·108/EA	17.28/EA	



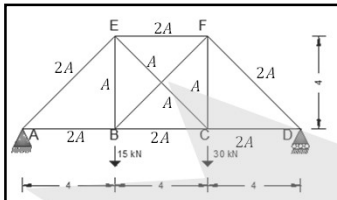
$$(\frac{N_0N_1\Delta L}{EA}) + (\frac{N_1N_1\Delta L}{EA}).x_1 = 0$$

$$x_1 = \frac{108}{17.28} = 6.25\ kN$$

الجهة المفروضة صحيحة.

EXAMPLE

للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب القوى المحورية في عناصره؟



ANSWER

الجائز غير مقرر داخلياً من الدرجة الأولى. يوجد ثلاث ردود أفعال فقط فهو مقرر خارجياً.

$$m + r = 2J + X \rightarrow 10 + 3 = 2 \times 6 + X \rightarrow X = 1$$

- نقرر الجائز بحذف العنصر EC، ونحسب القوى المحورية N_0 في عناصر الشبكي تحت تأثير الحمولات الخارجية فقط بدون العنصر EC.
- نحسب القوى المحورية N_1 في عناصر الشبكي بعد إزالة الحمولات الخارجية، وتطبيق قوة محورية واحدية بدلاً عن العنصر EC.(بفرض أنها قوة شد)

$$\left(\frac{N_0 N_1 \Delta L}{EA}\right) + \left(\frac{N_1 N_1 \Delta L}{EA}\right).x_1 = 0$$

$$x_1 = \frac{753}{69.2} = 10.88\ kN$$

الجهة المفروضة صحيحة.

$$N_{final} = N_0 + N_1.x_1$$

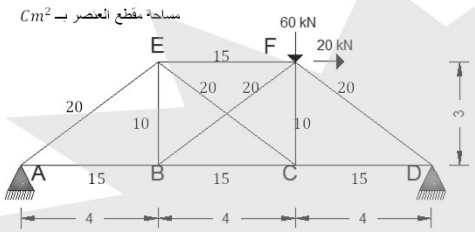
Dr.SAUOD-Hama University 2024

EXAMPLE

للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب ردود الأفعال في المساند والقوى المحورية في عناصره؟ تحت تأثير الحمولات الخارجية وارتفاع حرارة العنصر FB بمقدار 40 درجة.

$E = 2 \times 10^5\ MPa \quad \alpha = \frac{1}{75000}\ per\ C^\circ$

مساحة مقطع العنصر بـ Cm^2



ANSWER

$$m + r = 2J + X \rightarrow$$
$$10 + 4 = 2 \times 6 + X \rightarrow X = 2$$

- الجائز غير مقرر من الدرجة الثانية، غير مقرر داخلياً من الدرجة الأولى و غير مقرر خارجياً من الدرجة الأولى.
- نقرر الشبكي بإزالة رد الفعل الأفقي في المسند D وإزالة العنصر الداخلي EC.
- نحسب القوى المحورية في عناصر الشبكي المقرر تحت تأثير الحمولات الخارجية فقط N_0.

Dr.SAUOD-Hama University 2024

العنصر	ΔL	A	N_0	N_1	$\frac{N_0 N_1 \Delta L}{EA}$	$\frac{N_1 N_1 \Delta L}{EA}$	N_{final}
A·E	5.657	2A	·28.3	0	0	0	·28.3
E·F	4		·20	·0.707	113	4	·27.7
F·D	5.657		·35.3	0	0	0	·35.3
A·B	4		20	0	0	0	20
B·C	4		25	·0.707	·141	4	17.3
C·D	4		25	0	0	0	25
E·B	4	A	20	·0.707	·226	8	17.3
F·C	4		30	·0.707	·339	8	22.3
E·C	5.657		0	1	0	22.6	10.88
B·F	5.657		·7.07	1	·160	22.6	3.81
المجموع					·753/EA	69.2/EA	

Dr.SAUOD-Hama University 2024

القوى المحورية في الشبكي المقرر تحت تأثير قوة واحدية أفقية عند المسند D.

القوى المحورية في الشبكي المقرر تحت تأثير قوة واحدية محورية في العنصر EC.

العنصر	ΔL	A	N_0	N_1	N_2	$\frac{N_0 N_1 \Delta L}{EA}$	$\frac{N_0 N_2 \Delta L}{EA}$
A·B	4	15	40	1	0	5.333	0
B·C	4	15	60	1	·0.8	8	·6.4
C·D	4	15	60	1	0	8	0
E·F	4	15	·20	0	·0.8	0	2.133
E·B	3	10	15	0	·0.6	0	·1.35
F·C	3	10	0	0	·0.6	0	0
A·E	5	20	·25	0	0	0	0
B·F	5	20	·25	0	1	0	·3.125
F·D	5	20	·75	0	0	0	0
E·C	5	20	0	0	1	0	0
المجموع						$21.333 \times 10^{-4}\ m$	$-8.742 \times 10^{-4}\ m$

الانتقالات تحت تأثير الحمولات الخارجية فقط

الانتقال الأفقي الحاصل عند المسند D. (باتجاه اليمين)

الانتقال المحوري الحاصل في العنصر EC. (ضغط)

Dr.SAUOD-Hama University 2024

❑ حساب القوى الإضافية بتأثير الحمولات الخارجية و التغيرفي درجة الحرارة:

$$(\Delta_T)_1+((\Delta_L)_1 = \delta_{01}) + \delta_{11}.x_1 + \delta_{12}.x_2 = 0$$
$$(\Delta_T)_2+((\Delta_L)_2 = \delta_{02}) + \delta_{21}.x_1 + \delta_{22}.x_2 = 0$$

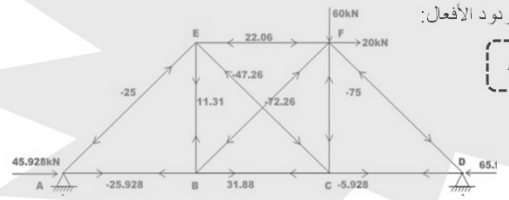
$$0 + 21.333 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-5}.x_1 - 1.067 \times 10^{-5}.x_2 = 0$$
$$2.67 \times 10^{-3} - 8.742 \times 10^{-4} - 1.067 \times 10^{-5}.x_1 + 5.286 \times 10^{-5}.x_2 = 0$$

$x_1 = -65.92$ kN

$x_2 = -47.26$ kN ضغط

القوى المحورية النهائية في عناصر الشبكي ورنود الأفعال:

$$N_{final} = N_0 + N_1.x_1 + N_2.x_2$$



Dr.SAUOD-Hama University 2024

العنصر	ΔL	A	N_0	N_1	$\frac{N_1N_1\Delta L}{EA}$	N_2	$\frac{N_2N_2\Delta L}{EA}$	$\frac{N_1N_2\Delta L}{EA}$
A·B	4	15	40	1	1.333	0	0	0
B·C	4	15	60	1	1.333	·0.8	0.853	·1.067
C·D	4	15	60	1	1.333	0	0	0
E·F	4	15	·20	0	0	·0.8	0.853	0
E·B	3	10	15	0	0	·0.6	0.54	0
F·C	3	10	0	0	0	·0.6	0.54	0
A·E	5	20	·25	0	0	0	0	0
B·F	5	20	·25	0	0	1	1.25	0
F·D	5	20	·75	0	0	0	0	0
E·C	5	20	0	0	0	1	1.25	0
المجموع					4×10^{-5} m/kN		5.286×10^{-5} m/kN	-1.067×10^{-5} m/kN

Dr.SAUOD-Hama University 2024

❑ نطبق معادلات العمل الوهمي:

$$\delta_{01} + \delta_{11}.x_1 + \delta_{12}.x_2 = 0$$
$$\delta_{02} + \delta_{21}.x_1 + \delta_{22}.x_2 = 0$$

$$21.333 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-5}.x_1 - 1.067 \times 10^{-5}.x_2 = 0$$
$$-8.742 \times 10^{-4} - 1.067 \times 10^{-5}.x_1 + 5.286 \times 10^{-5}.x_2 = 0$$

$x_1 = -51.73$ kN

$x_2 = 6.136$ kN شد

❑ مقدار التغير في طول العنصر FB بسبب ارتفاع درجة الحرارة 40 درجة:

$$\Delta_T = \alpha.T.L$$
$$\Delta_T = \frac{1}{75000} \times 40 \times 5 = 2.67 \times 10^{-3} m$$

❑ مقدار التشوهات المتوافقة مع القوى الإضافية x1,x2، بسبب التغير في درجة حرارة العنصر FB:

$$(\Delta_T)_1 = \sum (N_1)_i \times (\Delta_T)_i = 0$$
$$(\Delta_T)_2 = \sum (N_2)_i \times (\Delta_T)_i = 2.67 \times 10^{-3} m$$

Dr.SAUOD-Hama University 2024

EXAMPLE

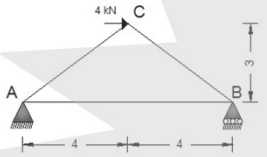
للجائز الشبكي المجاور، يُطلب مايلي:

- حساب الانتقال الشاقولي في العقدة C؟
- بعد إزالة الحمولات الخارجية، يُطلب حساب الانتقال الشاقولي في العقدة C بسبب قصر في طول العنصر AB بمقدار 5mm سوء صنع؟

$A = 400\ mm^2$ $E = 200\ GPa$

ANSWER

تم تطبيق القوة الواحدية للأسفل عند العقدة C.



العنصر	ΔL	A	N_0	N_1	$\frac{N_0N_1\Delta L}{EA}$
A·B	8	A	2	0.667	10.67
A·C	5		2.5	·0.833	·10.41
B·C	5		·2.5	·0.833	10.41
المجموع					10.67/EA

❑ الانتقال الشاقولي للعقدة C بتأثير الحمولات الخارجية فقط:

$$\delta_{CV} = \sum \frac{N_0.N_1.\Delta L}{EA} = \frac{10.67\ kN.m^2}{400 \times 10^{-6} m^2 \times 200 \times 10^6\ kN/m^2} = 0.000133\ m = 0.133\ mm\ \downarrow$$

معاكس للقوة الواحدية المطبقة عند العقدة C. $(\Delta_e)_1 = \sum (N_1)_i \times (\Delta_e)_i = 0.667 \times (-0.005) = -0.00333\ m = -3.33\ mm\ \uparrow$

الانتقال الشاقولي للعقدة C بتأثير الحمولات الخارجية والقصر في طول العنصر AB:

$$\delta_{CV} = 0.133 - 3.33 = 3.2\ mm\ \uparrow$$

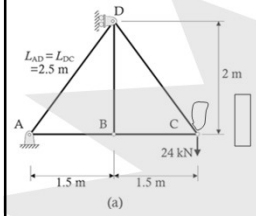
Dr.SAUOD-Hama University 2024

EXAMPLE

للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب كل من الانتقالين الشاقولي والأفقي في العقدة C؟
بالاستفادة من خواص المادة لعناصر الشبكي؟

$E = 12\ GPa,$
$A = 15000\ mm^2\ for\ (AB, BC, AD)$ $A = 5000\ mm^2\ for\ (BD, CD)$

ANSWER



نقوم بحساب القوى المحورية N0 تحت تأثير الحمولات الخارجية.
نقوم بحساب النشوه المحوري في عناصر الشبكي تحت تأثير القوى المحورية N0. باعتماد العلاقة:

$$(\Delta_e)_0 = \sum (N_0)_i \times (\Delta_e)_i \qquad \boxed{\Delta = e = \frac{N.L}{EA}}$$

$$\boxed{(1\ kN) * u_C = ((\Delta_e)\ kN.mm) \rightarrow u_C\ mm}$$

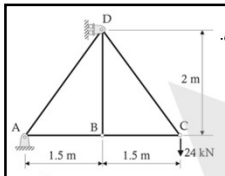
Dr.SAUOD-Hama University 2024

EXAMPLE

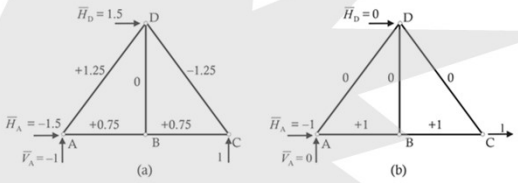
للجائز الشبكي المجاور، يُعطى القوى المحورية N_0 ومقدار سوء الصنع في عناصر الشبكي.
يُطلب حساب الانتقال الأفقي و الانتقال الشاقولي في العقدة C؟

ANSWER

نقوم بحساب القوى المحورية في عناصر الشبكي N_1, N_2.



القوى المحورية N0	سوء الصنع
N_{AD} = -30 kN	e_{AD} = -0.417 mm
N_{AB} = -18 kN	e_{AB} = -0.15 mm
N_{BD} = 0 kN	e_{BD} = 0 mm
N_{BC} = -18 kN	e_{BC} = -0.15 mm
N_{CD} = +30 kN	e_{CD} = +1.25 mm



$$(\Delta_e)_1 = \sum (N_1)_i \times (\Delta_e)_i$$
$$= \overline{N}_{AD}e_{AD} + \overline{N}_{AB}e_{AB} + \overline{N}_{BD}e_{BD} + \overline{N}_{BC}e_{BC} + \overline{N}_{CD}e_{CD}$$
$$= 1.25\times(-0.417) + 0.75\times(-0.15) + 0\times 0 + 0.75\times(-0.15) - 1.25\times 1.25$$
$$= -2.31\ kNmm$$

الانتقال الشاقولي في العقدة C منجحة سوء الصنع = 2.31 mm نحو الأسفل

$$(\Delta_e)_2 = \sum (N_2)_i \times (\Delta_e)_i$$
$$= \overline{N}_{AD}e_{AD} + \overline{N}_{AB}e_{AB} + \overline{N}_{BD}e_{BD} + \overline{N}_{BC}e_{BC} + \overline{N}_{CD}e_{CD}$$
$$= 0\times(-0.417) + 1.0\times(-0.15) + 0\times 0 + 1.0\times(-0.15) - 0\times 1.25$$
$$= -0.3\ kNmm$$

الانتقال الأفقي في العقدة C منجحة سوء الصنع = 0.3mm نحو اليسار

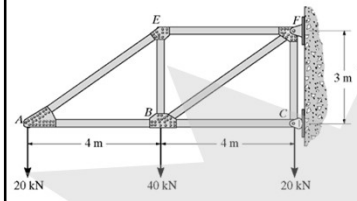
$$\boxed{(1\ kN) * u_C = ((\Delta_e)\ kN.mm) \rightarrow u_C\ mm}$$

Dr.SAUOD-Hama University 2024

أسئلة العملي للمحاضرة الثانية

EXAMPLE

فئة أولى

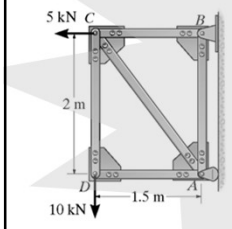


للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب الانتقال الشاقولي للعقدة A؟ بتأثير الحمولات الخارجية و تغير درجة حرارة العنصر AE بمقدار 60 درجة؟

$A = 100\ mm^2$ $\alpha = \frac{1}{75000}\ per\ C^\circ$
$E = 200\ GPa$

EXAMPLE

فئة ثانية



للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب الانتقال الأفقي للعقدة C؟ بتأثير الحمولات الخارجية و تغير درجة حرارة العنصر AC بمقدار 40 درجة؟

$A = 400\ mm^2$
$E = 200\ GPa$ $\alpha = \frac{1}{75000}\ per\ C^\circ$

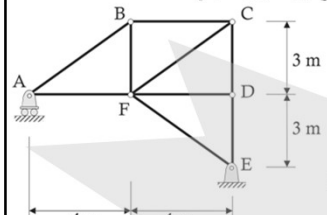
Dr.SAUOD-Hama University 2024

EXAMPLE

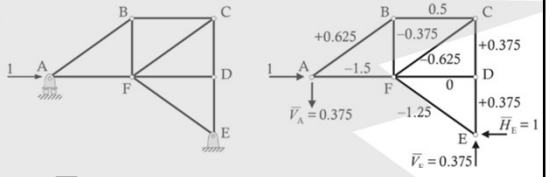
للجائز الشبكي المجاور، يُعطى مقدار التغير في طول العناصر بسبب ارتفاع درجة حرارة الشبكي.
يُطلب حساب الانتقال الأفقي في المسند A؟

ANSWER

نطبق قوة واحدية أفقية في المسند A ونقوم بحساب القوى المحورية في عناصر الشبكي.



$e_{AB} = +1.5$ mm $e_{BC} = +1.2$ mm
$e_{CD} = +0.9$ mm $e_{DE} = +0.9$ mm
$e_{EF} = -1.0$ mm $e_{AF} = -0.8$ mm
$e_{DF} = e_{CF} = e_{BF} = 0.$



$$(\Delta_e)_1 = \sum (N_1)_i \times (\Delta_e)_i$$
$$= \overline{N}_{AB}e_{AB} + \overline{N}_{BC}e_{BC} + \overline{N}_{CD}e_{CD} + \overline{N}_{DE}e_{DE} + \overline{N}_{EF}e_{EF} + \overline{N}_{AF}e_{AF} + \overline{N}_{DF}e_{DF} + \overline{N}_{CF}e_{CF} + \overline{N}_{BF}e_{BF}$$
$$= (0.625\times 1.5) + (0.5\times 1.2) + (0.375\times 0.9) + (0.375\times 0.9) + [-1.25\times(-1.0)] + [-1.5\times(-0.8)]$$
$$+ 0\times 0 - 0.625\times 0 - 0.375\times 0$$
$$= 4.66\ kNmm$$

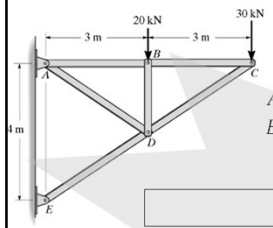
الانتقال الأفقي في العقدة A منجحة تغيرات الحرارة = 4.66 mm نحو اليمين

$$\boxed{(1\ kN) * u_A = ((\Delta_e)\ kN.mm) \rightarrow u_A\ mm}$$

Dr.SAUOD-Hama University 2024

EXAMPLE فئة ثالثة

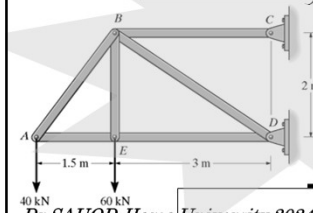
للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب الانتقال الشاقولي للعقدة D؟
بتأثير الحمولات الخارجية و القصر في العنصر ED بمقدار 10 mm؟



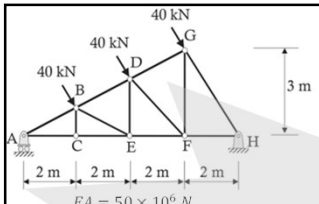
$A = 300\ mm^2$
$E = 200\ GPa$

EXAMPLE فئة رابعة

للجائز الشبكي المجاور، يُطلب حساب الانتقال الشاقولي للعقدة A؟
بتأثير الحمولات الخارجية و زيادة في طول العنصر BD بمقدار 5 mm؟



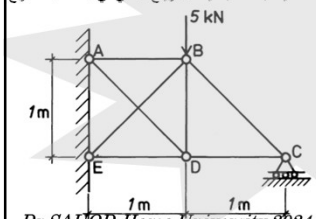
$A = 400\ mm^2$
$E = 200\ GPa$

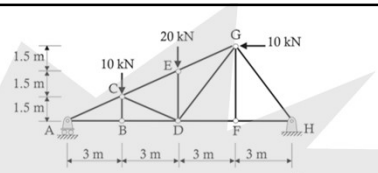


$EA = 50 \times 10^6\ N$

يُطلب حساب قيمة الانتقال الشاقولي في الموضع E؟

يُطلب حساب قيمة الانزياح الأفقي في المسند المتدحرج؟

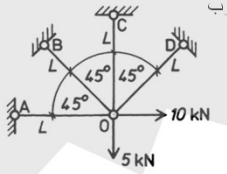


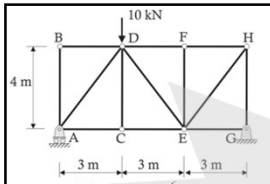


$E = 10000\ MPa\ , A = 4000\ mm^2$

يُطلب حساب قيمة الانتقال الشاقولي في الموضع D؟

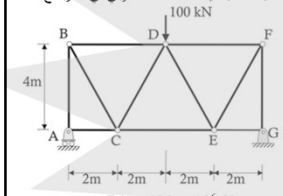
المسائل التالية يحدد الطالب لنفسه اسئلة ليتدرب على تحليل الشبكيات.





$EA = 60 \times 10^6\ N$

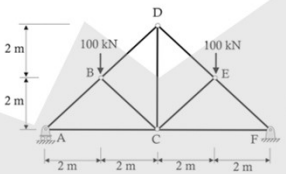
يُطلب حساب قيمة الانتقال الشاقولي في الموضع E؟



$EA = 100 \times 10^6\ N$

يُطلب حساب قيمة الانتقال الشاقولي في الموضع D؟

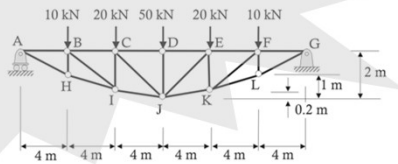
Dr.SAUOD-Hama University 2024



$EA = 50 \times 10^6\ N$

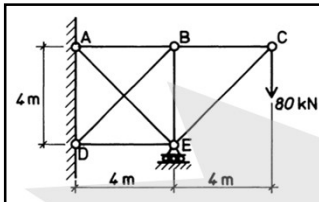
يُطلب حساب قيمة الانتقال الشاقولي في الموضع C؟

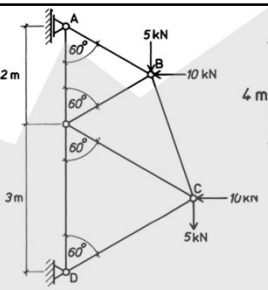
المسائل التالية غير محلولة للتدريب.



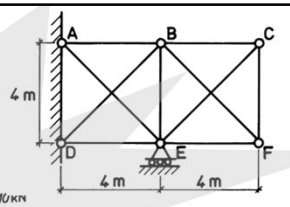
$EA = 5 \times 10^8\ N$

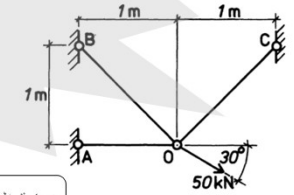
يُطلب حساب قيمة الانتقال الشاقولي في الموضع J؟





حساب الانزياح الحاصل في المسند A؟





End of 2nd Lecture نهاية المحاضرة الثانية