

Podać składowe wektora odkształceń elementu CST z dokładnością do 5-ciu miejsc znaczących

wektory współrzędnych węzłów

$$x := \begin{pmatrix} -2 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ cm} \quad y := \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 7 \end{pmatrix} \cdot \text{ cm}$$

wektor przemieszczeń węzłów

$$ux := \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix} \text{ mm} \quad uy := \begin{pmatrix} -2 \\ -2 \\ -1 \end{pmatrix} \text{ mm}$$

wektory pomocnicze:

$$I := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad F = \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ y \end{pmatrix} \quad \alpha x = \begin{pmatrix} a_x \\ b_x \\ c_x \end{pmatrix} \quad \alpha y = \begin{pmatrix} a_y \\ b_y \\ c_y \end{pmatrix}$$

Aproksymacja przemieszczeń ux

funkcją kształtu $N_x \rightarrow U_x(x, y) = a_x + b_x x + c_x y = \alpha_x^T \cdot F$

Aproksymacja przemieszczeń uy

funkcją kształtu $N_y \rightarrow U_y(x, y) = a_y + b_y x + c_y y = \alpha_y^T \cdot F$

Wyznaczanie współczynników funkcji kształtu N_x .

Warunki w każdym węźle:

$$U_x(x_1, y_1) = ux_1 \quad U_x(x_2, y_2) = ux_2 \quad U_x(x_3, y_3) = ux_3$$

Podobnie dla funkcji N_y :

$$U_y(x_1, y_1) = uy_1 \quad U_y(x_2, y_2) = uy_2 \quad U_y(x_3, y_3) = uy_3$$

Obliczanie odkształceń:

$$\epsilon_x = \frac{d}{dx} N_x(x, y) = b_x = \alpha x_2$$

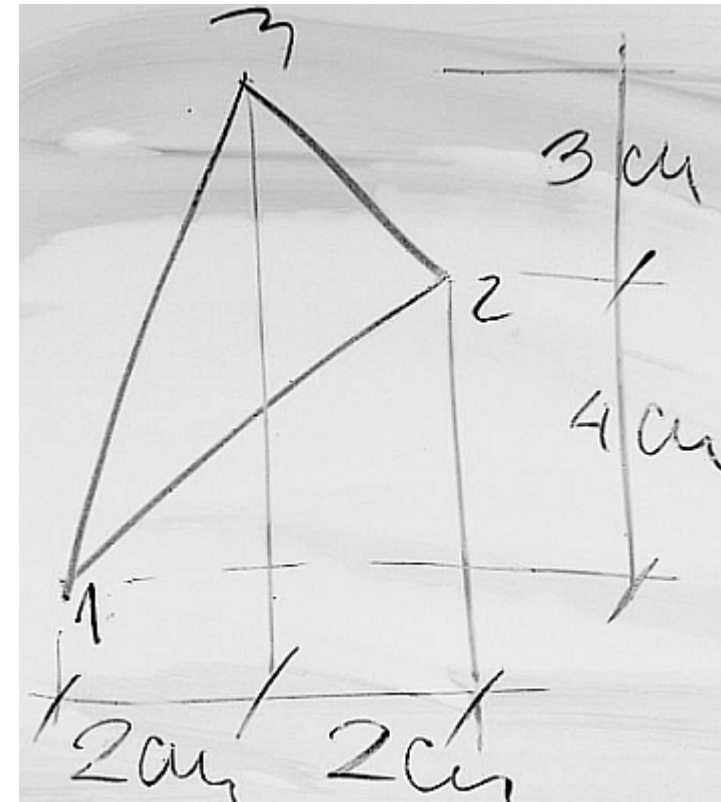
$$\epsilon_y = \frac{d}{dy} N_y(x, y) = c_y = \alpha y_3$$

$$\gamma_{xy} = \frac{d}{dy} N_x(x, y) + \frac{d}{dx} N_y(x, y) = c_x + b_y = \alpha x_3 + \alpha y_2$$

$$\epsilon_x := \alpha x_2 = 5.0000 \times 10^{-2}$$

$$\epsilon_y := \alpha y_3 = 2.0000 \times 10^{-2}$$

$$\gamma_{xy} := \alpha x_3 + \alpha y_2 = -2.0000 \times 10^{-2}$$



$$u^e = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 3 \\ -2 \\ ? \\ 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.5 \\ \text{mm} \\ \leftarrow \\ 5 \text{ mm} \end{matrix}$$

Dostajemy 2 układy równań: $M \cdot \alpha x = ux$ $M \cdot \alpha y = uy$

Macierz współrzędnych: $M := \text{augment}(I, x, y)$

$$M = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 0 \\ 1 & 2 & 4 \\ 1 & 0 & 7 \end{pmatrix}$$

Rozwiązanie układów równań: $\alpha x := \text{lsolve}(M, ux)$

$\alpha y := \text{lsolve}(M, uy)$

$$\alpha x = \begin{pmatrix} 2.00000 \times 10^{-1} \\ 5.00000 \times 10^{-2} \\ 0.00000 \times 10^0 \end{pmatrix}$$

$$\alpha y = \begin{pmatrix} -2.40000 \times 10^{-1} \\ -2.00000 \times 10^{-2} \\ 2.00000 \times 10^{-2} \end{pmatrix}$$

Wyniki w innych postaciach

$$A20 := |M| \cdot 10 = 200$$

$$\epsilon_{\text{max}} := \begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.0000 \times 10^{-2} \\ 2.0000 \times 10^{-2} \\ -2.0000 \times 10^{-2} \end{pmatrix}$$

$$\epsilon \cdot A20 = \begin{pmatrix} 10 \\ 4 \\ -4 \end{pmatrix}$$

$$\alpha x \cdot A20 = \begin{pmatrix} 40 \\ 10 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\alpha y \cdot A20 = \begin{pmatrix} -48 \\ -4 \\ 4 \end{pmatrix}$$