

Statyka Budpwli

Laboratorium nr 1

Opracowała: dr inż. Olga Szyłko-Bigus

olga.szylko@pwr.edu.pl



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska

Zajęcia laboratoryjno-projektowe

1. W ramach zajęć do wykonania są 3 projekty;
2. W ramach zajęć przewidziane są 2 kartkówki zaliczające;
3. Do poprawy przystąpić może tylko ten, kto najpóźniej w dniu poprawy odda gotowy projekt;
4. Projekt musi być wykonany poprawnie –w przeciwnym razie należy go poprawić;
5. Frekwencja –co najmniej 75%;
6. Aktywność na zajęciach punktowana jest dodatkowo;
7. Na każde zajęcia należy być przygotowanym.

Warunki zaliczenia

- Oddanie poprawnie wykonanych ćwiczeń projektowych;
- Zaliczenie każdej kartkówki (minimalnie na ocenę dostateczną (3,0));
- Do kartkówki przewidziana jest jedna poprawa;
- Poprawa odbywać się będzie na ostatnich zajęciach;
- Zaliczenie można uzyskać jedynie w trakcie trwania semestru

Pomoce dydaktyczne

1. Wykład dr inż. Kamila Jarczewska;
2. <http://k3-wbliw.pwr.edu.pl/dydaktyka/studia-stacjonarne-i-stopnia>
3. <https://wbliw.pwr.edu.pl/pracownicy/olga-szylko-bigus>;
4. <https://wbliw.pwr.edu.pl/pracownicy/katarzyna-misiurek>
5. W.Nowacki, Mechanika budowli t.1;
6. Mechanika budowli. Ujęcie komputerowe;
7. A.Chudziński, Statyka Budowli cz.2;
8. A.Cybuski, Z.Grodecki, Statyka ustrojów prętowych t.IV

Tematy ćwiczeń laboratoryjnych

1. Ćwiczenie I (kartkówka na 5 zajęciach):
 - Obliczanie przemieszczeń w układach izostatycznych (kratownica)
 - Obliczanie przemieszczeń w układach izostatycznych (rama)
2. Ćwiczenie II: Metoda przemieszczeń (kartkówka na 9 zajęciach)
3. Ćwiczenie II: Linie wpływu

Kartkówka trwa 45 minut

Projekty

- Ćwiczenia projektowe wykonujemy na kartkach formatu A4. Piszemy po jednej stronie kartki, druga strona zostaje na poprawę.
- Żaden element ćwiczenia (ani tekst ani rysunki) nie mogą być wykonane w ołówku. Strony ćwiczenia muszą być ponumerowane.
- Pierwsza strona ćwiczenia jest jego okładką na której należy napisać nr ćw., nazwisko i imię, druga kartka to wydany temat, trzecia kartka to spis treści.
- Kolejna kartka ma zawierać dane i szukane (schemat rozwiązywanego układu z wymiarami i obciążeniami).
- Jeśli w temacie lub na zajęciach nie jest wyraźnie zaznaczone, że coś jest obliczane na komputerze to wszystkie obliczenia wykonujemy ręcznie, wartości i jednostki muszą wynikać z obliczeń, podać używane wzory, wykonać niezbędne szkice. Na końcu ćwiczenia należy napisać: projekt wykonał/a.
- Przy poprawianiu ćwiczeń należy przekreślić błędne obliczenia tak by były czytelne i wykonywać nowe (obok, na pustych stronach lub na nowych stronach z zaznaczeniem gdzie się te poprawki znajdują). Nie dopuszcza się wyjmowania stron z błędnymi obliczeniami lub poprawianie przez wymazywanie.

Wzór okładki

Politechnika Wroclawska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Katedra Mechaniki Budowli i Inżynierii Miejskiej

Studia inżynierskie stacjonarne

ĆWICZENIE PROJEKTOWE NR 1 Z PRZEDMIOTU PROJEKTOWEGO STATYKA BUDOWLI

Temat:

- 1. Rozwiązanie kratownicy i wyznaczenie przemieszczeń**
- 2. Rozwiązanie ramy metodą sił i wyznaczenie przemieszczeń**

	Imię i Nazwisko	Data	Podpis
Projektant			
Weryfikator			

Uwagi:

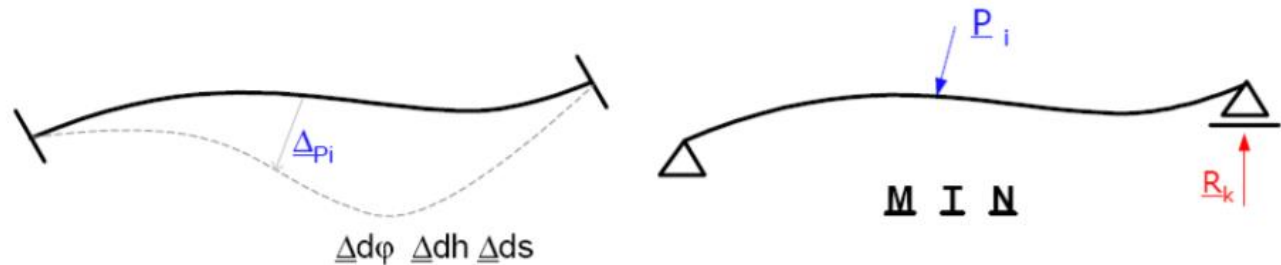
TEMAT 1 ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

Rozwiązanie kratownicy i wyznaczenie przemieszczeń

WYKORZYSTANIE ZASADY PRAC PRZYGOTOWANYCH DO OBLICZANIA PRZEMIESZCZEŃ W KRATOWNICY

Praca zewnętrznych sił wirtualnych na rzeczywistych przemieszczeniach jest równa pracy wirtualnych sił przekrojowych na rzeczywistych odkształceniach

$$\sum_i P_i \Delta_{pi} + \sum_k R_k \Delta_{rk} = \int M \Delta_{d\varphi} + \int T \Delta_{dh} + \int N \Delta_{ds}$$



DLA KRATOWNIC:

$$P_i \cdot \Delta_{iF} = \Delta_i^F = \sum_p \frac{N_p^i \cdot N_p^F}{E_p A_p} \cdot L_p + \sum_s \frac{S_s^i \cdot S_s^F}{k_s}$$

$$P_i \cdot \Delta_{i\Delta} = \Delta_i^\Delta = \sum_p N_p^i \cdot \Delta L_p^\Delta - \sum_r R_r^i \cdot \Delta_r$$

$$P_i \cdot \Delta_{iT} = \Delta_i^T = \sum_p N_p^i \cdot \Delta L_p^T \quad \text{gdzie} \quad \Delta L_p^T = \alpha_{Tp} \cdot L_p \cdot \Delta T_{o_p}$$

WYKORZYSTANIE ZASADY PRAC PRZYGOTOWANYCH DO OBLICZANIA PRZEMIESZCZEŃ W KRATOWNICY

SYMBOLE oznaczające określone wielkości:

Δ - przemieszczenie (może to być przesunięcie, kąt obrotu lub dowolna suma przemieszczeń a w tym wzajemne przemieszczenie) lub przyrost określonej wielkości

S – siła w więzi sprężystej (moment w więzi rotacyjnej lub siła podłużna w więzi translacyjnej),

k – sztywność więzi sprężystej.

Indeks górny określa przyczynę wywołującą daną wielkość.

Pierwszy indeks dolny określa miejsce działania (występowania) danej wielkości.

Drugi indeks dolny określa, jeśli nie ma indeksu górnego, przyczynę wywołującą daną wielkość, a jeśli jest indeks górny, stanowi uzupełnienie określenia miejsca działania danej wielkości.

Δ_{ij}, Δ_i^j oznaczają przemieszczenie w miejscu i kierunku i wywołane przyczyną oznaczoną symbolem j

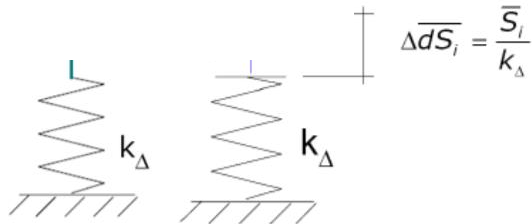
N_p^i oznacza siłę osiową w pręcie o numerze p wywołaną przyczyną oznaczoną symbolem i ,

S_s^i oznacza siłę w więzi sprężystej o numerze s wywołaną przyczyną oznaczoną symbolem i .

α_T - współczynnik rozszerzalności termicznej materiału,

WIĘZI SPRĘŻYSTE

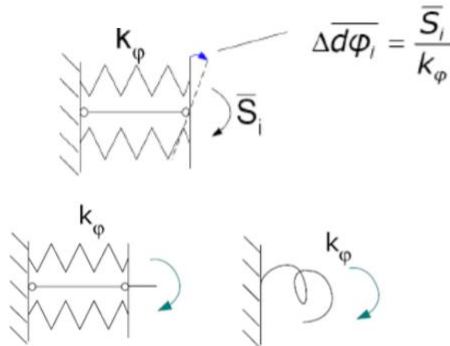
Więż sprężysta translacyjna



Więzi sprężyste translacyjne charakteryzowane są przez sztywność więzi sprężystej $k_\Delta \left[\frac{kN}{m} \right]$.

Oznacza to, że poszukujemy siły jaką należy przyłożyć , aby ścisnąć lub rozciągnąć sprężynę o 1m.

Więż sprężysta rotacyjna



Więzi sprężyste rotacyjne charakteryzowane są przez sztywność więzi sprężystej $k_\phi \left[\frac{kN \cdot m}{rad} \right]$.

Oznacza to, że poszukujemy siły momentowej jaką należy przyłożyć , aby obrócić węzeł o 1rad.

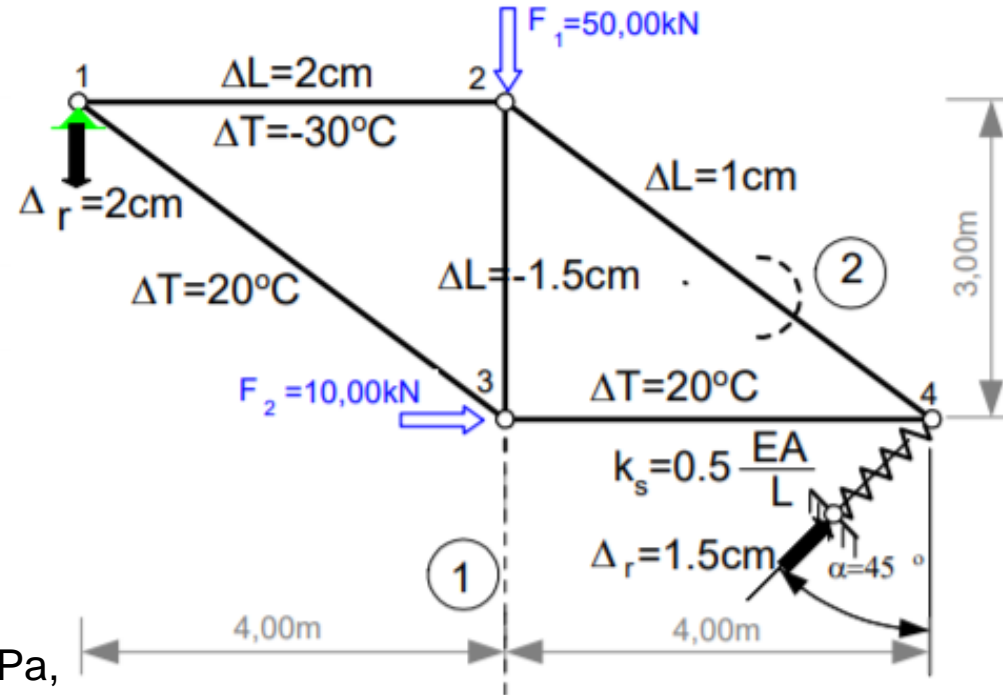
Laboratorium nr 1

Dana jest kratownica płaska izostatyczna o schemacie i obciążeniu mechanicznym i niemechanicznym jak na rysunku. Należy:

- Sprawdzić warunek ilościowy i jakościowy geometrycznej niezmienności układu.
- Wyznaczyć siły osiowe w prętach wywołane zadaniem obciążeniem.
- Zaprojektować wstępnie przekroje prętów tak by wystąpiły pręty o przynajmniej 2 różnych polach przekroju poprzecznego.
- Obliczyć wartości zaznaczonych przemieszczeń od obciążenia.

Zadane obciążenie

- Obciążenie siłami
- Temperatura
- Osładane podpór
- Błędy montażu



W obliczeniach przyjąć:

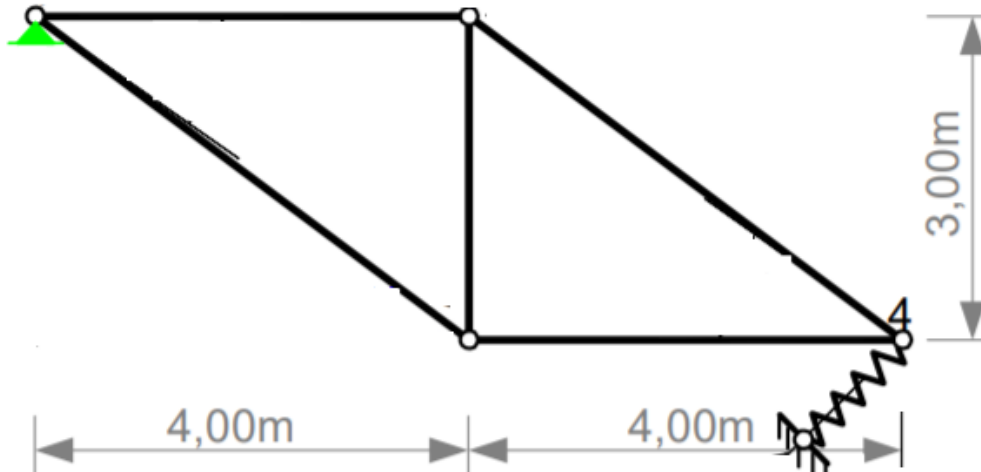
- średni współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1.5$
- wytrzymałość obliczeniową stali $f_d = 215 \text{ MPa}$,
- współczynnik sprężystości podłużnej $E = 205 \text{ GPa}$,
- współczynnik rozszerzalności termicznej $\alpha_T = 0.000012/^\circ\text{C}$.

Sprawdzenie warunku ilościowego i jakościowego geometrycznej niezmienności układu

- sprawdzamy czy w układzie jest dobra ilość : węzłów -w, reakcji -r i prętów - p

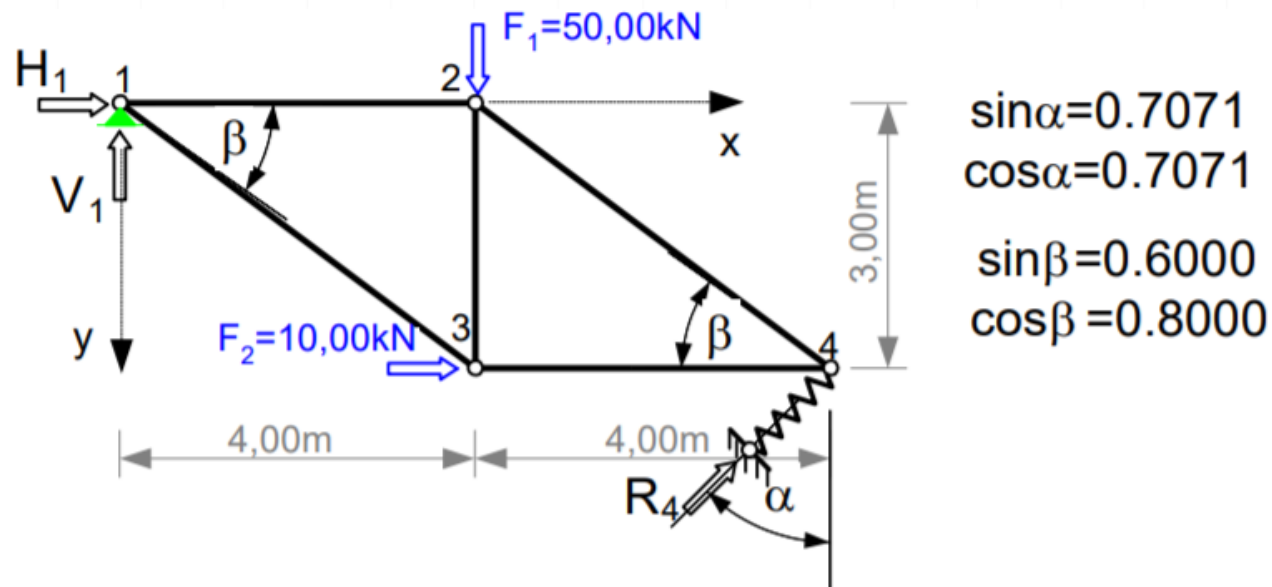
$$n_{\Delta} = 2w - (p + r) = 2 \cdot 4 - (5 + 3) = 0$$

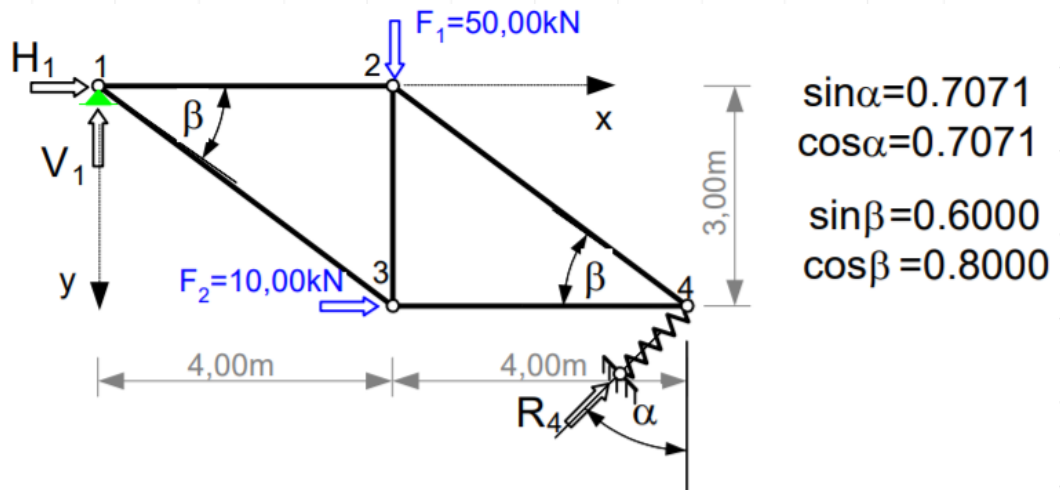
- Kratownica ma typową budowę "trójkątową" (twierdzenie Aronholda) i tworzy jako całość układ geometrycznie niezmienny. Cała kratownica jest połączona z ostoją trzema niezbieżnymi, nierównoległymi więziami (podporowymi), a więc jest układem geometrycznie niezmiennym.



PRZYJĘCIE UKŁADU WSPÓŁRZĘDNYCH I NUMERACJI WĘZŁÓW

W zadaniu przyjęto globalny układ współrzędnych XY i numerację węzłów tak jak pokazano
Lokalne układy współrzędnych xy dla każdego węzła przyjęto tak jak układ globalny (oś pionowa – zwrot w dół, oś pozioma – zwrot w prawo)



Rozwiązanie kratownicy od danego obciążenia siłami (F_1, F_2)

Wyznaczenie reakcji podpór

$$\sum M_1 = -R_4 \cdot \cos\alpha \cdot 8m - R_4 \cdot \sin\alpha \cdot 3m + F_1 \cdot 4m - F_2 \cdot 3m = 0 \Rightarrow$$

$$-R_4 \cdot 0.7071 \cdot 8m - R_4 \cdot 0.7071 \cdot 3m + 50kN \cdot 4m - 10kN \cdot 3m = 0 \Rightarrow R_4 = 21.856kN,$$

$$R_4 \cdot \sin\alpha = 15.455kN, \quad R_4 \cdot \cos\alpha = 15.455kN$$

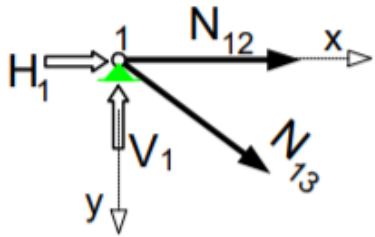
$$\sum X = H_1 + F_2 + R_4 \cdot \sin\alpha = 0 \Rightarrow H_1 + 10kN + 15.455kN = 0 \Rightarrow H_1 = -25.455kN.$$

$$\sum Y = -V_1 + F_1 - R_4 \cdot \cos\alpha = 0 \Rightarrow -V_1 + 50kN - 15.455kN = 0 \Rightarrow V_1 = 34.545kN.$$

Siła w więzi sprężystej: $S_s^F = -R_4 = -21.856kN$

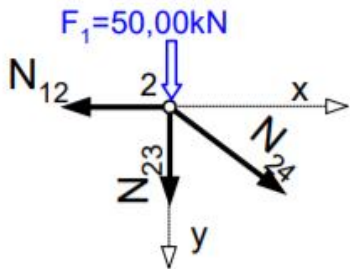
OBLICZENIE WARTOŚCI SIŁ OSIOWYCH I KONTROLA RÓWNAŃ RÓWNOWAGI

Węzeł 1



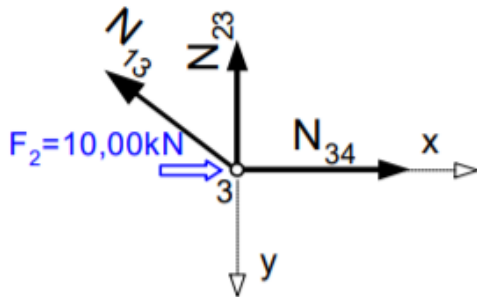
$$\begin{aligned} \sum Y &= -H_1 + N_{13} \cdot \sin \beta = 0 & \Rightarrow \\ & -34.545kN + N_{13} \cdot 0.6 = 0 & \Rightarrow N_{13} = 57.576kN, \\ \sum X &= V_1 + N_{12} + N_{13} \cdot \cos \beta = 0 & \Rightarrow \\ & -25.455kN + N_{12} + 57.576kN \cdot 0.8 = 0 & \Rightarrow N_{12} = -20.606kN. \end{aligned}$$

Węzeł 2



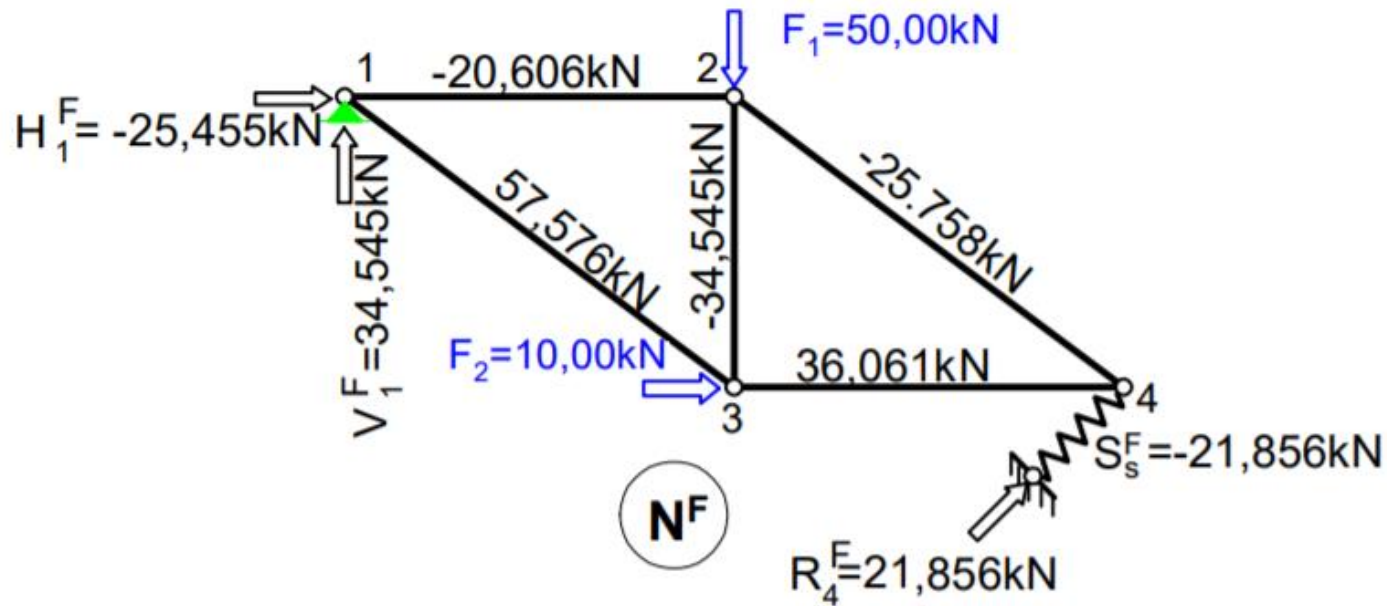
$$\begin{aligned} \sum X &= -N_{12} + N_{24} \cdot \cos \beta = 0 & \Rightarrow \\ & 20.606kN + N_{24} \cdot 0.8 = 0 & \Rightarrow N_{24} = -25.758kN, \\ \sum Y &= N_{23} + N_{24} \cdot \sin \beta + F_1 = 0 & \Rightarrow \\ & N_{23} - 25.758kN \cdot 0.6 + 50kN = 0 & \Rightarrow N_{23} = -34.545kN. \end{aligned}$$

Węzeł 3



$$\begin{aligned} \sum X &= -N_{13} \cdot \cos \beta + N_{34} + F_2 = 0 & \Rightarrow \\ & -57.576kN \cdot 0.8 + N_{34} + 10kN = 0 & \Rightarrow N_{34} = 36.061kN, \\ \sum Y &= -N_{13} \cdot \sin \beta - N_{23} = (-57.576 \cdot 0.6 + 34.545)kN = 0 \end{aligned}$$

Zestawienie wyników rozwiązania



Uwaga: Wszystkim wielkościom z tego rozwiązania przypisujemy indeks górny F, gdyż zostały wywołane obciążeniem oznaczonym symbolem F.

PROJEKTOWANIE WSTĘPNE PRZEKROJÓW PRĘTÓW

Projektując pręty kratownicy wychodzimy ze znanej z wytrzymałości materiałów teoretycznej zależności na naprężenia normalne σ przy ściskaniu/rozciąganiu:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq f_d$$

modyfikując ją o pewne współczynniki.

- dla prętów ściskanych

$$\sigma = \frac{|N_{\min}| \gamma_f}{A^- \varphi} \leq f_d$$

$$A^- \geq \frac{|N_{\min}| \gamma_f}{f_d \varphi}$$

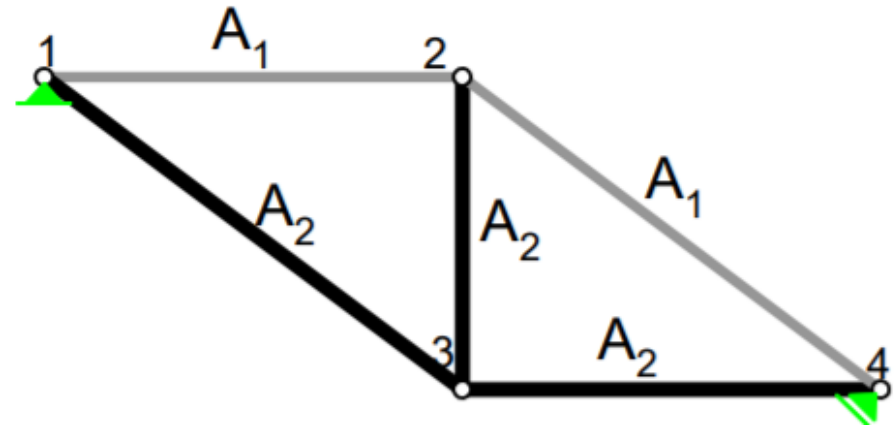
- dla prętów rozciąganych

$$\sigma = \frac{|N_{\max}| \gamma_f}{A^+} \leq f_d$$

$$A^+ \geq \frac{|N_{\max}| \gamma_f}{f_d}$$

przyjąć: $0,4 < \varphi < 0,6$

PROJEKTOWANIE WSTĘPNE PRZEKROJÓW PRĘTÓW



Przyjęto 2 grupy prętów jak na szkicu obok

Pręty 1-2 i 2-4

Obydwa pręty są ściskane. Wartość największej siły ściskającej wynosi 25.758 kN.

Przyjęto wstępnie współczynnik wyboczeniowy $\varphi = 0.65$.

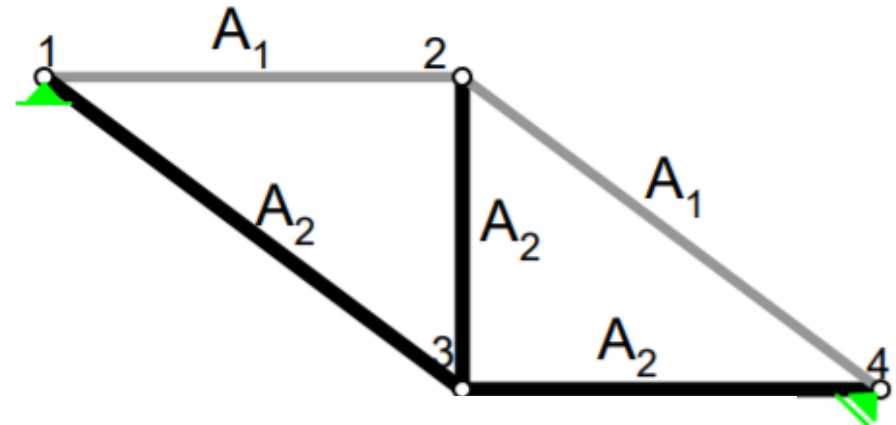
Potrzebne pole przekroju

$$A \geq \frac{\max|N| \cdot \gamma_f}{f_d \cdot \varphi} = \frac{25.758 \text{ kN} \cdot 1.2}{215000 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.65} = 0.0002211 \text{ m}^2 = 2.211 \text{ cm}^2$$

$$\boxed{\text{Przyjęto rurę } \Phi 26.9 \times 3.2} \Rightarrow A_1 = 2.38 \text{ cm}^2 > 2.211 \text{ cm}^2$$

$$EA_1 = 205000000 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.000238 \text{ m}^2 = 48790 \text{ kN}$$

PROJEKTOWANIE WSTĘPNE PRZEKROJÓW PRĘTÓW

**Pręty 1-3, 2-3 i 3-4**

Pręty 1-3 i 3-4 są rozciągane. Maksymalna wartość siły rozciągającej wynosi 57.576 kN.

Potrzebne pole przekroju

$$A \geq \frac{\max N \cdot \gamma_f}{f_d} = \frac{57.576 \text{ kN} \cdot 1.2}{215000 \text{ kN/m}^2} = 0.0003214 \text{ m}^2 = 3.214 \text{ cm}^2$$

Pręt 2-3 jest ściskany. Wartość siły ściskającej wynosi 34.545 kN.

Przyjęto wstępnie współczynnik wyboczeniowy $\varphi = 0.65$.

Potrzebne pole przekroju

$$A \geq \frac{\max |N| \cdot \gamma_f}{f_d \cdot \varphi} = \frac{34.545 \text{ kN} \cdot 1.2}{215000 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.65} = 0.0002966 \text{ m}^2 = 2.966 \text{ cm}^2$$

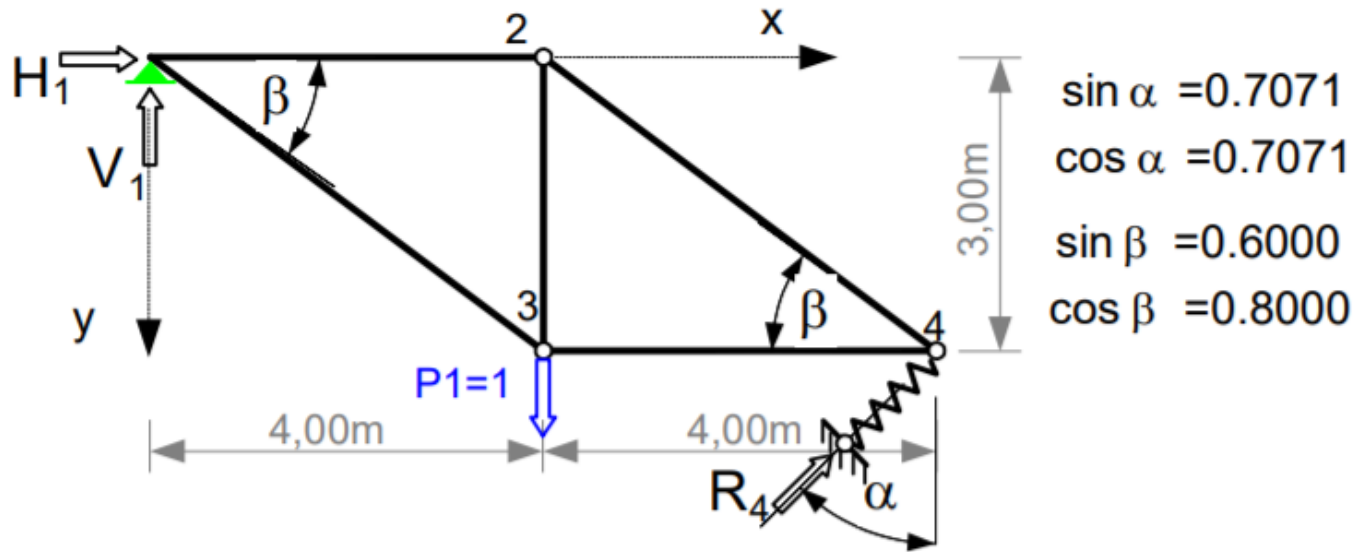
$$\boxed{\text{Przyjęto rurę } \Phi 31.8 \times 4} \Rightarrow A_2 = 3.49 \text{ cm}^2 > 3.214 \text{ cm}^2 > 2.966 \text{ cm}^2$$

$$EA_2 = 205000000 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.000349 \text{ m}^2 = 71545 \text{ kN}$$

SZTYWNOŚĆ WIĘZI SPRĘŻYSTEJ

Ponieważ w warunkach zadania nie określono, dla którego pręta przyjąć $\frac{EA}{L}$, można wybrać dowolnie. Przyjmiemy $\frac{EA}{L}$ dla pręta 3-4.

Sztywność więzi sprężystej wynosi, więc
$$k_s = 0.5 \cdot \frac{EA}{L} = 0.5 \cdot \frac{EA_2}{L_{34}} = 0.5 \cdot \frac{71545 \text{ kN}}{4 \text{ m}} = 8943 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

ROZWIĄZANIE KRATOWNICY OD OBCIĄŻENIA $P_1 = 1$ 

Wyznaczenie reakcji podpor

$$\sum M_1 = -R_4 \cdot \cos \alpha \cdot 8m - R_4 \cdot \sin \alpha \cdot 3m + P_1 \cdot 4m = 0 \quad \Rightarrow$$

$$-R_4 \cdot 0.7071 \cdot 8m - R_4 \cdot 0.7071 \cdot 3m + 1 \cdot 4m = 0 \quad \Rightarrow \quad R_4 = 0.514,$$

$$R_4 \cdot \sin \alpha = 0.3635, \quad R_4 \cdot \cos \alpha = 0.3635$$

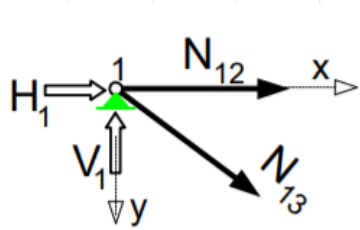
$$\sum X = H_1 + R_4 \cdot \sin \alpha = 0 \quad \Rightarrow \quad H_1 + 0.3635 = 0 \quad \Rightarrow \quad H_1 = -0.364.$$

$$\sum Y = -V_1 + F_1 - R_4 \cdot \cos \alpha = 0 \quad \Rightarrow \quad -V_1 + 1 - 0.3635 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_1 = 0.636.$$

Siła w więzi sprężystej: $S_s^1 = -R_4 = -0.514$

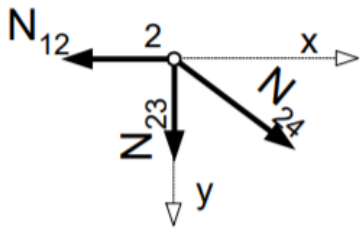
OBLICZENIE WARTOŚCI SIŁ OSIOWYCH I KONTROLA RÓWNAŃ RÓWNOWAGI

Węzeł 1



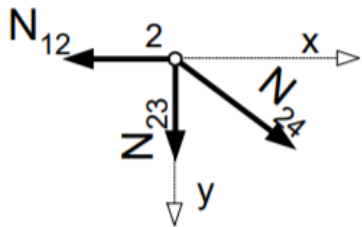
$$\begin{aligned} \sum Y &= -V_1 + N_{13} \cdot \sin \beta = 0 & \Rightarrow \\ & -0.636 + N_{13} \cdot 0.6 = 0 & \Rightarrow N_{13} = 1.061, \\ \sum X &= H_1 + N_{12} + N_{13} \cdot \cos \beta = 0 & \Rightarrow \\ & -0.364 + N_{12} + 1.061 \cdot 0.8 = 0 & \Rightarrow N_{12} = -0.485. \end{aligned}$$

Węzeł 2



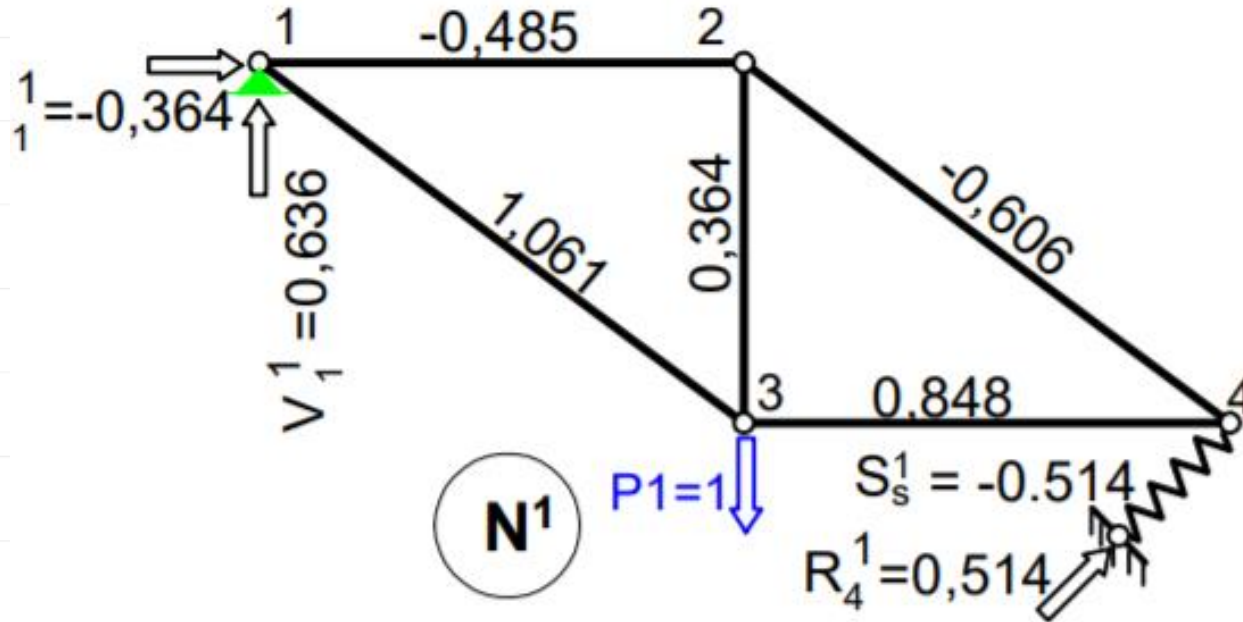
$$\begin{aligned} \sum X &= -N_{12} + N_{24} \cdot \cos \beta = 0 & \Rightarrow \\ & 0.485 + N_{24} \cdot 0.8 = 0 & \Rightarrow N_{24} = -0.606, \\ \sum Y &= N_{23} + N_{24} \cdot \sin \beta = 0 & \Rightarrow \\ & N_{23} - 0.606 \cdot 0.6 = 0 & \Rightarrow N_{23} = 0.364. \end{aligned}$$

Węzeł 3



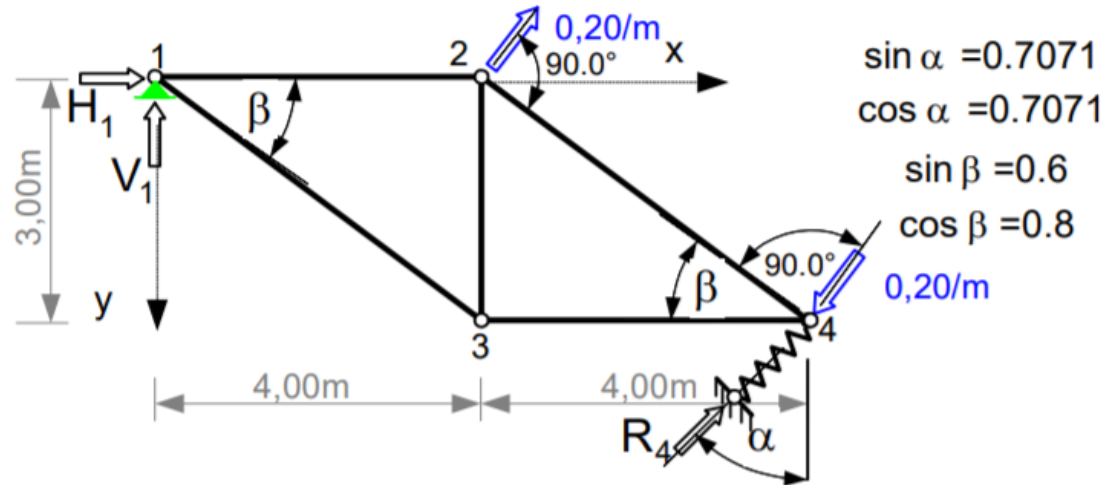
$$\begin{aligned} \sum X &= -N_{12} + N_{24} \cdot \cos \beta = 0 & \Rightarrow \\ & 0.485 + N_{24} \cdot 0.8 = 0 & \Rightarrow N_{24} = -0.606, \\ \sum Y &= N_{23} + N_{24} \cdot \sin \beta = 0 & \Rightarrow \\ & N_{23} - 0.606 \cdot 0.6 = 0 & \Rightarrow N_{23} = 0.364. \end{aligned}$$

Zestawienie wyników rozwiązania



Uwaga: Wszystkim wielkościom z tego rozwiązania przypisujemy indeks górny 1, gdyż zostały wywołane obciążeniem oznaczonym symbolem $P_1=1$.

ROZWIĄZANIE KRATOWNICY OD OBCIĄŻENIA $P_2 = 1$



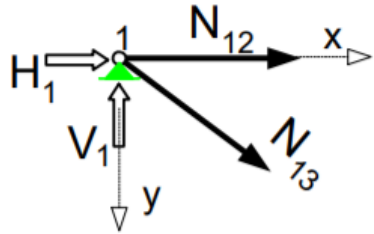
Wyznaczenie reakcji podpór

$$\begin{aligned} \sum M_1 &= -R_4 \cdot \cos \alpha \cdot 8m - R_4 \cdot \sin \alpha \cdot 3m + P_2 = 0 & \Rightarrow \\ & -R_4 \cdot 0.7071 \cdot 8m - R_4 \cdot 0.7071 \cdot 3m + 1 = 0 & \Rightarrow R_4 = 0.129 / m, \\ & R_4 \cdot \sin \alpha = 0.0912 / m, & R_4 \cdot \cos \alpha = 0.0912 / m \\ \sum X &= H_1 + R_4 \cdot \sin \alpha = 0 & \Rightarrow H_1 + 0.0912 / m = 0 & \Rightarrow H_1 = -0.0912 / m. \\ \sum Y &= -V_1 - R_4 \cdot \cos \alpha = 0 & \Rightarrow -V_1 - 0.0912 / m = 0 & \Rightarrow V_1 = -0.0912 / m. \end{aligned}$$

Siła w więzi sprężystej: $S_s^2 = -R_4 = -0.129 / m$

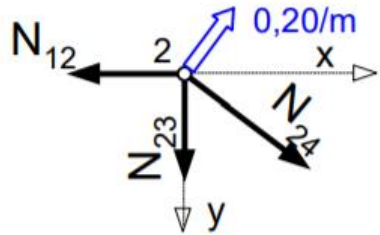
OBLICZENIE WARTOŚCI SIŁ OSIOWYCH I KONTROLA RÓWNAŃ RÓWNOWAGI

Wezeł 1



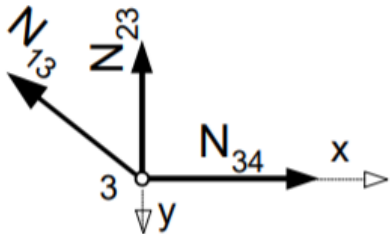
$$\begin{aligned} \sum Y &= -V_1 + N_{13} \cdot \sin \beta = 0 & \Rightarrow \\ &+ 0.0912/m + N_{13} \cdot 0.6 = 0 & \Rightarrow N_{13} = -0.152/m, \\ \sum X &= H_1 + N_{12} + N_{13} \cdot \cos \beta = 0 & \Rightarrow \\ &- 0.0912 + N_{12} - 0.152/m \cdot 0.8 = 0 & \Rightarrow N_{12} = 0.212/m. \end{aligned}$$

Wezeł 2



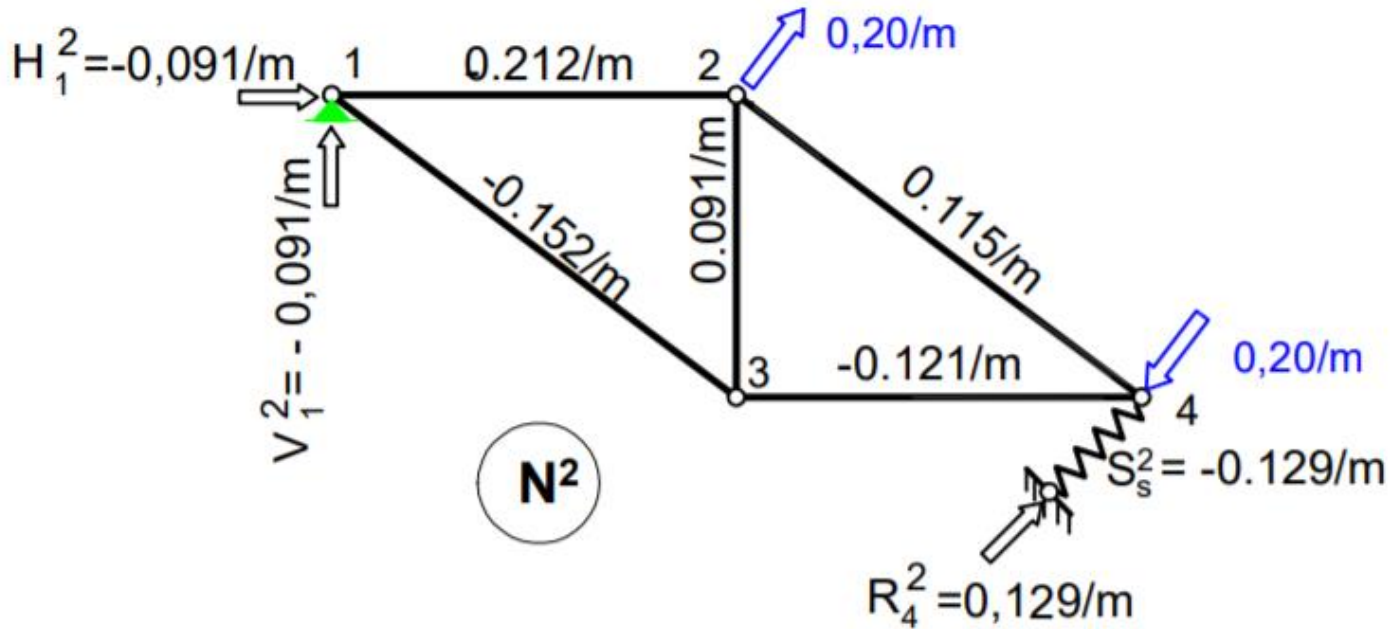
$$\begin{aligned} \sum X &= -N_{12} + N_{24} \cdot \cos \beta + P_2 / 5m \cdot \sin \beta = 0 & \Rightarrow \\ &- 0.212/m + N_{24} \cdot 0.8 + 0.2/m \cdot 0.6 = 0 & \Rightarrow N_{24} = 0.115/m, \\ \sum Y &= N_{23} + N_{24} \cdot \sin \beta - P_2 / 5m \cdot \cos \beta = 0 & \Rightarrow \\ &N_{23} + 0.115 \cdot 0.6 - 0.2/m \cdot 0.8 = 0 & \Rightarrow N_{23} = 0.091/m. \end{aligned}$$

Wezeł 3



$$\begin{aligned} \sum X &= -N_{13} \cdot \cos \beta + N_{34} = 0 & \Rightarrow \\ &+ 0.152 \cdot 0.8 + N_{34} = 0 & \Rightarrow N_{34} = -0.121, \\ \sum Y &= -N_{13} \cdot \sin \beta - N_{23} = +0.152 \cdot 0.6 - 0.091 = 0 & \text{(kontrola)} \end{aligned}$$

Zestawienie wyników rozwiązania



Uwaga: Wszystkim wielkościom z tego rozwiązania przypisujemy indeks górny 2, gdyż zostały wywołane obciążeniem oznaczonym symbolem $P_2=1$.

Obliczenie szukanych przemieszczeń od obciążenia danego

Przemieszczenia obliczono w tabeli poniżej na podstawie wzorów:

$$\Delta_{1F} = \sum_p \left(\frac{N^1 \cdot N^F}{EA} \cdot L \right)_p + \sum_s \frac{S_s^1 \cdot S_s^F}{k_s}, \quad \Delta_{2F} = \sum_p \left(\frac{N^2 \cdot N^F}{EA} \cdot L \right)_p + \sum_s \frac{S_s^2 \cdot S_s^F}{k_s}$$

Uwaga: Elementy w kolumnach 8 i 9 dla więzi sprężystych obliczamy odpowiednio ze wzorów $\frac{S_s^1 \cdot S_s^F}{k_s}$ i $\frac{S_s^2 \cdot S_s^F}{k_s}$, zamiast ze wzorów podanych w nagłówku tabeli.

Oznaczenie pręta	EA	L	k _s	N ^F (S ^F)	N ¹ (S ¹)	N ² (S ²)	$\left(\frac{N^1 \cdot N^F}{EA} \cdot L \right)_p$	$\left(\frac{N^2 \cdot N^F}{EA} \cdot L \right)_p$
	kN	m	kN/m	kN	-	1/m	m	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-2	48 790	4.00	-	-20.606	-0.485	0.212	0.00082	-0.00036
2-4	48 790	5.00	-	-25.758	-0.606	0.115	0.00160	-0.00030
1-3	71 545	5.00	-	57.576	1.061	-0.152	0.00427	-0.00061
2-3	71 545	3.00	-	-34.545	0.364	0.091	-0.00053	-0.00013
3-4	71 545	4.00	-	36.061	0.848	-0.121	0.00171	-0.00024
Więź sprężysta	-	-	8 943	-21.856	-0.514	-0.129	0.00126	0.00032
							0.00913	-0.00133
							Δ_{1F}	Δ_{2F}

Obliczenie szukanych przemieszczeń od obciążenia danego

Określenie wymiarów szukanych wielkości

$$[\Delta_{1F}(N)] = \frac{[N^1] \cdot [N^F]}{[EA]} \cdot [L] = \frac{1 \cdot kN}{kN} \cdot m = m, \quad [\Delta_{2F}(N)] = \frac{[N^2] \cdot [N^F]}{[EA]} \cdot [L] = \frac{1/m \cdot kN}{kN} \cdot m = 1$$

Wartości przemieszczeń wynoszą:

Składowa pionowa przesunięcia węzła nr 3

$$\Delta_{1F} = 0.00913m = 0.913cm$$

Kąt obrotu pręta 2-4

$$\Delta_{2F} = -0.00133 = -0.00133rad = -\frac{0.00133 \cdot 180^\circ}{\pi} = -0.0762^\circ$$

Minus oznacza, że zwrot szukanego przemieszczenia jest przeciwny niż zwrot założonego obciążenia jednostkowego.

Obliczenie szukanych przemieszczeń od zmian temperatury

Przemieszczenia obliczono w poniższej tabeli na podstawie wzorów:

$$\Delta_{1T} = \sum_p (N^1 \cdot \Delta L^T)_p = \sum_p (N^1 \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_o \cdot L)_p, \quad \Delta_{2T} = \sum_p (N^2 \cdot \Delta L^T)_p = \sum_p (N^2 \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_o \cdot L)_p$$

Oznacz.	α_T	L	ΔT_o	N^1	N^2	$(N^1 \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_o \cdot L)_p$	$(N^2 \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_o \cdot L)_p$
pręta	1/°C	m	°C	-	1/m	m	-
1-2	0.000012	4.00	-30	-0.485	0.212	0.00070	-0.00031
2-4	0.000012	5.00	0	-0.606	0.115	0.00000	0.00000
1-3	0.000012	5.00	20	1.061	-0.152	0.00127	-0.00018
2-3	0.000012	3.00	0	0.364	0.091	0.00000	0.00000
3-4	0.000012	4.00	20	0.848	-0.121	0.00081	-0.00012
						0.00279	-0.00060
						Δ_{1T}	Δ_{2T}

Określenie wymiarów szukanych przemieszczeń

$$[\Delta_{1T}] = [N^1] \cdot [\alpha_T] \cdot [\Delta T_o] \cdot [L] = 1 \cdot \frac{1}{^\circ C} \cdot ^\circ C \cdot m = m, \quad [\Delta_{2T}] = [N^2] \cdot [\alpha_T] \cdot [\Delta T_o] \cdot [L] = \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{^\circ C} \cdot ^\circ C \cdot m = 1$$

Wartości przemieszczeń wynoszą:

Składowa pionowa przesunięcia węzła nr 3

$$\Delta_{1T} = 0.00279m = 0.279cm$$

Kąt obrotu pręta 2-4

$$\Delta_{2T} = -0.00060 = -0.00060rad = -\frac{0.00060 \cdot 180^\circ}{\pi} = -0.0344^\circ$$

Obliczenie szukanych przemieszczeń od błędów montażu i osiadania podpór

Przemieszczenia obliczono w poniższej tabeli na podstawie wzorów:

$$\Delta_{1\Delta} = \sum_p (N^1 \cdot \Delta L^\Delta)_p - \sum_r R_r^1 \cdot \Delta_r, \quad \Delta_{2\Delta} = \sum_p (N^2 \cdot \Delta L^\Delta)_p - \sum_r R_r^2 \cdot \Delta_r$$

Oznaczn.	ΔL^Δ	N^1	N^2	$(N^1 \cdot \Delta L^\Delta)_p$	$(N^2 \cdot \Delta L^\Delta)_p$
pręta	m	-	1/m	m	-
1-2	0.020	-0.485	0.212	-0.00970	0.00424
2-4	0.010	-0.606	0.115	-0.00606	0.00115
1-3	0.000	1.061	-0.152	0.00000	0.00000
2-3	-0.015	0.364	0.091	-0.00546	-0.00137
3-4	0.000	0.848	-0.121	0.00000	0.00000
Przemieszczenia od błędów montażu				-0.02122	0.00403

Oznaczenie więzi podporowej	Δr	R^1	R^2	$-R_r^1 \cdot \Delta_r$	$-R_r^2 \cdot \Delta_r$
	m	-	1/m	m	-
H1	0.000	-0.364	-0.091	0.00000	0.00000
V1	0.020	-0.636	0.091	0.01272	-0.00182
R4	0.015	0.514	0.129	-0.00771	-0.00194
Przemieszczenia od przemieszczeń podpór				0.00501	-0.00376
RAZEM OD BŁĘDÓW MONTAŻU I PRZEM. PODPÓR				-0.01621	0.00027
				$\Delta_{1\Delta}$	$\Delta_{2\Delta}$

Zadanie domowe (projekt nr 1, zadanie nr 1):

1. Sprawdzenie SW i GN układu
2. Obliczenie sił osiowych od zadanego obciążenia mechanicznego
3. Wstępne zaprojektowanie przekrojów poprzecznych prętów kratownicy