XLI OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ

Zawody III stopnia

Rozwiązania zadań dla grupy mechaniczno-budowlanej

Rozwiązanie zadania 1

Ilość energii dostarczanej przez piec:

$$\dot{Q} = \dot{m}\, W_u\, \eta = \frac{0,5}{3600} \cdot 25 \cdot 10^6 \cdot 0,5 = 1736,1 \text{ W}.$$

Strumień tej energii przenoszony jest przez ścianę i przez okna:

$$\dot{Q} = \left(\frac{F - F_{ok}}{R_s} + F_{ok}\, u_{ok} \right) \left(T_w - T_z \right) , \tag{1}$$

gdzie R_s jest oporem ściany:

$$R_s = \frac{F - F_{ok}}{\dfrac{\dot{Q}}{T_w - T_z} - F_{ok}\, u_{ok}} = \frac{40 - 9}{\dfrac{1736,1}{20 - (-15)} - 9 \cdot 1,2} = 0,799 \, (\text{m}^2 \text{ K})/\text{W} .$$

Wprowadzenie dodatkowo oporu styropianu R_{st} do równania (1) i zmniejszenie x krotne strumienia ciepła prowadzi do:

$$\frac{\dot{Q}}{x} = \left(\frac{F - F_{ok}}{R_s + R_{st}} + F_{ok}\, u_{ok} \right) \cdot \left(T_w - T_z \right) , \tag{2}$$

a stąd dla ułatwienia przekształceń:

$$\frac{\dot{Q}}{x} = \left(A + F_{ok}\, u_{ok} \right) \left(T_w - T_z \right) ,$$

Patronem honorowym OWT jest Minister Gospodarki.
Organizatorem OWT jest Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT.
Olimpiada jest finansowana ze środków MEN.

$$A = \frac{\dot{Q}}{x\left(T_w - T_z\right)} - F_{ok}\, u_{ok} = \frac{1736,1}{2 \cdot (20+15)} - 9 \cdot 1,2 = 14,0\,,$$

$$R_{st} = \frac{F - F_{ok}}{A} - R_s = \frac{40-9}{14,0} - 0,799 = 1,415\ (\mathrm{m}^2\ \mathrm{K})/\mathrm{M}\,,$$

ponieważ: $R_{st} = \dfrac{g_{st}}{\lambda_{st}}$,
więc: $g_{st} = R_{st} \cdot \lambda_{st} = 1,415 \cdot 0,042 = 0,059\ \mathrm{m}\ \approx\ 6\ \mathrm{cm}$.

Całkowity koszt położenia styropianu:

$$K = \left(F - F_{ok}\right) k_{st} = (40-9) \cdot 150 = 4650\ \text{zł}.$$

Zysk związany z oszczędnością węgla

$$Z = \dot{m}\left(1 - \frac{1}{x}\right) k_w = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{600}{1000} = 0,15\ \text{zł/h}.$$

Z porównania wartości kosztu położenia styropianu K i wartości godzinowego zysku Z widać, że inwestycja ta zwróci się po bardzo wielu latach. Przyjmując całkowicie abstrakcyjne założenie, że podane w zadaniu temperatury będą się utrzymywały bez przerwy inwestycja zwróci się po:

$$\frac{K}{Z \cdot 24 \cdot 365} = \frac{4650}{0,15 \cdot 24 \cdot 365} = 3,5\ \text{latach}.$$

Jest to tzw. prosty czas zwrotu nie uwzględniający szeregu czynników związanych z upływem czasu.

Rozwiązanie zadania 2

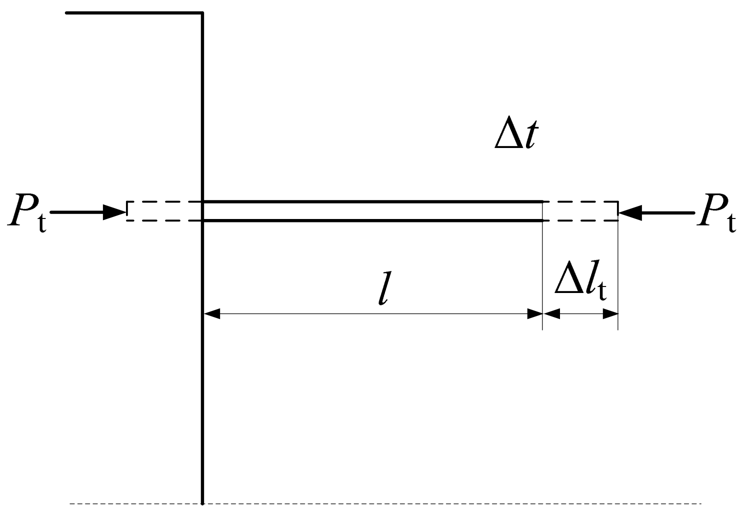
Ponieważ pręt jest obustronnie utwierdzony i nie ma w związku z tym swobody odkształceń poosiowych (wzdłużnych), to w wyniku wzrostu temperatury z t_1 do t_2 w pręcie tym powstanie siła ściskająca P_t. Można ją wyznaczyć w sposób pokazany na rys.2, uwalniając myślowo jeden z końców pręta.

Pod wpływem wzrostu temperatury pręt wydłuży się o odcinek $\Delta\, l_t$ równy:

$$\Delta\, l_t = \alpha_t\, l\, \Delta\, t\,. \tag{1}$$

Ponieważ wskutek obustronnego utwierdzenia długość pręta l musi pozostać niezmieniona, to do jego swobodnego (uwolnionego myślowo) końca należy przyłożyć taką siłę ściskającą, aby wywołane nią skrócenie $\Delta\, l$ było równe $\Delta\, l_t$. Mamy więc:

$$\Delta\, l = \frac{P_t\, l}{E\, A}\,. \tag{2}$$



Rys.2.

Ponieważ musi być spełniony warunek:

$$\Delta\, l = \Delta\, l_t\,, \tag{3}$$

to z przyrównania (1) i (2), otrzymujemy:

$$P_t = \alpha_t\, E\, A\, \Delta\, t\,. \tag{4}$$

Pamiętając, że

$$A = \frac{\pi\, d^2}{4}\,, \tag{5}$$

i wstawiając do (4) i (5) dane liczbowe, mamy:

$$P_t = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi\, d^2}{4} = 59376,10 \cdot 10^3\, d^2\,. \tag{6}$$

Wzór na siłę krytyczną P_{kr}, powodująca wyboczenie pręta, który znaleźć można w każdym poradniku ma postać:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2\, E\, J}{\left(l_w\right)^2}\,. \tag{7}$$

We wzorze (7), J jest momentem bezwładności przekroju pręta, zaś l_w jego długością wyboczeniową. W każdym poradniku można znaleźć, że w przypadku kołowego przekroju poprzecznego pręta

$$J = \frac{\pi\, d^4}{64}\,, \tag{8}$$

oraz, że długość wyboczeniowa pręta

$$l_w = \lambda\, l\,, \tag{9}$$

przy czym λ jest tzw. współczynnikiem wyboczeniowym, który w przypadku pręta obustronnie utwierdzonego jest równy $0,5$.

Z (7), (8) i (9) mamy więc po wstawieniu danych liczbowych:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot d^4}{(0,5 \cdot 5)^2 \cdot 64} = 16,278 \cdot 10^9\, d^4\,. \tag{10}$$

Z porównania (6) i (10) otrzymujemy:

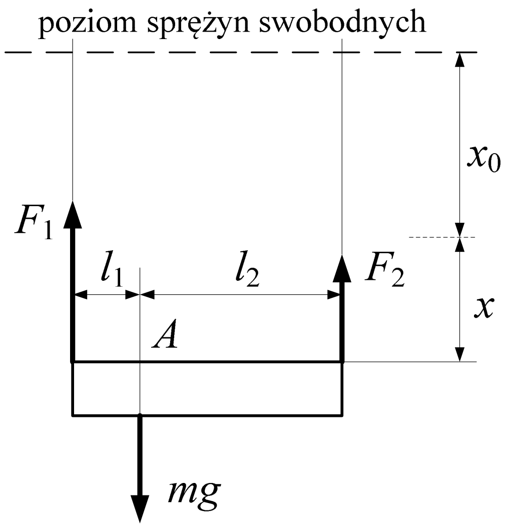
$$59376,10 \cdot 10^3\, d^2 = 16,278 \cdot 10^9\, d^4\,, \tag{11}$$

Skąd:

$$d = 0,06039 \text{ m} = 6,04 \text{ cm}. \tag{12}$$

Jest to minimalna średnica pręta, przy której może nastąpić wyboczenia. Rzeczywista średnica powinna być zatem większa tak, aby uchronić pręt przed wyboczeniem wskutek wzrostu temperatury otoczenia do 35°C (czyli o 30°C wyższej od temperatury montażu 5°C).

Rozwiązanie zadania 3



Rys.2

Rys.2 pokazuje rozkład sił w układzie, gdzie:
x_0 – wydłużenie sprężyn po ich obciążeniu w stanie spoczynku układu,
x – chwilowe wychylenie podczas ruchu układu.

Ad.a)

Warunek poziomego położenia belki wymaga równych długości obu sprężyn i równości momentów sił względem punku A.

$$F_1\, l_1 = F_2\, l_2\,, \tag{1}$$

a ponieważ:

$$F_1 = k_1 \left(x + x_0\right) \quad \text{i} \quad F_2 = k_2 \left(x + x_0\right)\,, \tag{2}$$

z równań (1) i (2) wynika, że:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{k_1 \left(x + x_0\right)}{k_2 \left(x + x_0\right)}\,,$$

i stąd:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{4000}{3500} = 1,14\,.$$

Ad.b)

Ruch masy m jest wynikiem działania trzech sił: $m\,g$, F_1 i F_2. W stanie spoczynku siły te równoważą się i stąd

$$m\,g = \left(k_1 + k_2\right)\, x_0\,, \tag{3}$$

podczas ruchu z przyspieszeniem a:

$$m\,a = m\,g - \left(F_1 + F_2\right)\,,$$

$$m\,a = m\,g - \left(x_0 + x\right)\,\left(k_1 + k_2\right)\,. \tag{4}$$

Wykorzystując równanie (3) można powyższe uprościć do postaci:

$$a + \frac{k_1 + k_2}{m}\, x = 0\,. \tag{5}$$

Otrzymano typowe równanie ruchu dla układu drgającego harmonicznie, dla którego prędkość kołowa drgań wynosi:

$$\omega = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{m}}\,, \tag{6}$$

a okres drgań:

$$T = \frac{2\,\pi}{\omega} = 2\,\pi\,\sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}\,, \tag{7}$$

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{200}{4000 + 3500}} = 1,03 \text{ s.}$$

Ad.c)

Postać równania (7) sugeruje, że przedstawiony układ sprężyn można zastąpić jedną o współczynniku sztywności:

$$k = k_1 + k_2 = 4000 + 3500 = 7500 \text{ N/m.}$$

Przykładowe rozwiązanie problemu technicznego

Problemy, które należy rozwiązać w rozważanym przypadku:

1. Sposób przemieszczenia. Ze względu na masę budynku nie powinno się brać pod uwagę przemieszczeń ze składową pionową, inaczej mówiąc transport nie powinien obejmować fazy jego podnoszenia. Przesunięcie budynku wymaga zrobienia wykopu między aktualną i przyszłą lokalizacją. Wykop musi być odpowiednio wzmocniony tak, aby ułożone w nim „torowisko" wytrzymało nacisk budowli.

2. Ponieważ budynek jest wykonany z cegły należy go wzmocnić na poziomie fundamentu wykonując dodatkowy solidny, betonowy fundament, który przejmie cały ciężar budynku i jednocześnie stworzy platformę opierającą się na elementach jezdnych. Budowa tego fundamentu stanowi istotny problem całego projektu. Musi być on wykonywany stopniowo, małymi fragmentami – wielkość (długość) tych fragmentów należy określić na podstawie wstępnych badań stanu fundamentów budynku, jak również stanu gruntu pod i wokół budynku.

3. Fundament opisany powyżej można wykonać w taki sposób, że zastąpi on częściowo stary fundament z cegły – przez jego wycięcie poniżej poziomu terenu. Kolejne elementy fundamentu/platformy jezdnej można w trakcie wykonywania opierać na elementach jezdnych. Przed rozpoczęciem tych prac na podstawie informacji o masie budynku należy oszacować liczbę wózków, a także parametry „torowiska", takie jak: liczba torów i wytrzymałość belek stalowych.

4. Napęd używany do przesuwania konstrukcji. Najwygodniejsze są siłowniki hydrauliczne. Projektując fundament/platformę należy uwzględnić elementy, do których będą mocowane siłowniki. Zależy także zaprojektować elementy mocowane do torowiska, które będą przeciwwagą dla siłowników (elementy te muszą być przesuwne).

5. W zależności od stanu technicznego budynku należy także rozważyć ewentualną konieczność jego wzmocnienia na całej wysokości – wykonania stalowych opasek, które usztywnią całą konstrukcję.