

Największy moment dodatni w przekroju zewnątrz punktów stałych powstaje podczas obciążenia przęsła przekrojonego między punktem granicznym, a najbliższą podporą, pozostała zaś część przęsła ma pozostać nieobciążona. Oprócz tego reszta przęseł ma być naprzemian nieobciążona i obciążona. Uzupełniające obciążenie wywołuje największy moment ujemny.

Tablice.

Dla użytku praktyki podajemy na końcu działu: „Statyka budowli“ tablice do obliczenia belek ciągłych (i belek utwierdzonych), obciążonych ciężarem jednostajnym g , rozłożonym na całej długości belki, ciężarem jednostajnym częstotliwym p , oraz ciężarami skupionymi G .

Tablice A podają momenty zgięcia siły poprzeczne i oddziaływania w różnych przekrojach belki ciągłej (2-, 3- i 4-przęsłowej o przęsłach różnych) pod obciążeniem stałym g , obciążeniem ruchomem p i pod ciężarami skupionymi G , stojącymi w różnych odstępach.

Tablice B podają rzędne linii wpływowych belki obustronnie utwierdzonej, oraz belki ciągłej 2- i 3-przęsłowej o rozpiętościach równych i nierównych (przy stosunku przęseł 1:1, 1:1,2, 1:1,5, oraz 1:1:1, 1:1,2:1, 1:1,5:1).

Przykład. Obliczyć największe momenty i oddziaływania belki ciągłej dwuprzęsłowej o rozpiętościach podporowych $l = 8,00$ m, $l_1 = 12,00$ m, dla obciążenia stałego $g = 0,2$ t/m, użytkowego $p = 0,5$ t/m; oraz ciężaru skupionego stałego $G = 3,0$ t, działającego w odległości $a = \xi l = 0,4 l$ (por. przykład str. 1296).

Do obliczenia używamy tablicy 4., ułożonej dla założenia, iż momenty bezwładności przekrojów belki są stałe i sobie równe.

Stosunek rozpiętości $n = l_1 : l = 12,0 : 8,0 = 1,5$ dla największego momentu dodatniego w przęsle l otrzymamy:

$$M_1 = (\sum Fg + Fg)l^2 + G\eta l = (0,0825 \cdot 0,2 + 0,100 \cdot 0,5) \cdot 8,0^2 + 3,0 \cdot 0,2131 \cdot 8,0 = 8,616 + 5,144 = 8,7304 \text{ tm};$$

dla największego momentu dodatniego w przęsle l_1 :

$$M_2 = (\sum Fg + Fp)l^2 - G\eta l = (0,1825 \cdot 0,2 + 0,2025 \cdot 0,5) \cdot 8,0^2 - 3,0 \cdot 0,0156 \cdot 8,0 = 8,44 \text{ tm};$$

dla największego momentu podporowego:

a) przęsło l obciążone:

$$M_c = -(\sum Fg + Fp)l^2 - G\eta l = -(0,2188 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 0,5) \cdot 8,0^2 - 3,0 \cdot 0,0671 \cdot 8,0 = -6,01 \text{ t};$$

b) obydwa przęsła obciążone:

$$M_c = -(g + p) \sum Fl^2 - G\eta l = -(0,2 + 0,5) \cdot 1,2188 \cdot 8,0^2 - 3,0 \cdot 0,0671 \cdot 8,0 = -56,21 \text{ tm}.$$

Oddziaływania na podporach obliczamy dla dwu przypadków: a) przęsło l obciążone, b) obydwa przęsła obciążone.

ad a).

$$A = (\sum Fg + Fp)l + G\eta \xi = 0,4 = (0,2812 \cdot 0,2 + 0,46 \cdot 0,5) \cdot 8,0 + 3,0 \cdot 0,583 = 8,85 \text{ t}.$$

$$B = (0,6042 \cdot 0,2 - 0,0333 \cdot 0,5) \cdot 8,0 - 3,0 \cdot 0,0447 = 0,69 \text{ t},$$

$$C = (1,6146 \cdot 0,2 + 0,6833 \cdot 0,5) \cdot 8,0 + 3,0 \cdot 0,5117 = 6,45 \text{ t}.$$

ad b).

$$A = 0,2812 \cdot (0,2 + 0,5) \cdot 8,0 + 3,0 \cdot 0,583 = 8,17 \text{ t},$$

$$B = 0,6042 \cdot (0,2 + 0,5) \cdot 8,0 - 3,0 \cdot 0,0447 = 3,25 \text{ t},$$

$$C = 1,6146 \cdot (0,2 + 0,5) \cdot 8,0 + 3,0 \cdot 0,5117 = 10,58 \text{ t}.$$

G. Ramy.

Napisał

inż. dr. Stefan Bryła, profesor politechniki, Lwów.

Są to twory hiperstatyczne, złożone z prętów najczęściej prostych (niekiedy zakrzywionych lub łamanych), połączonych ze sobą przy pomocy sztywnych węzłów. Pręty pionowe (lub o kierunku, zbliżonym do pionu), nazywamy słupami, poziome zaś (lub zbliżone do poziomu) rozporami. Każdy pręt ustroju ramowego znajduje się wogóle pod działaniem momentów, oraz sił osiowych i poprzecznych, musi być więc wykształcony sztywnie.

Rozróżniamy ramy jednoprzęsłowe, wieloprzęsłowe i piętrowe, posiadające kilka rozpór jedna nad drugą. Słupy mogą być dołem utwierdzone lub oparte na przegubach.

Ramy można obliczać przy pomocy różnych metod:

1. Metoda ogólnych równań sprężystości, str. 1258, także str. 1148 i 1149.

Jest to sposób najdokładniejszy, gdyż pozwala na uwzględnienie wpływu sił osiowych i poprzecznych na odkształcenie. Ramę dwusłupową (jedno-

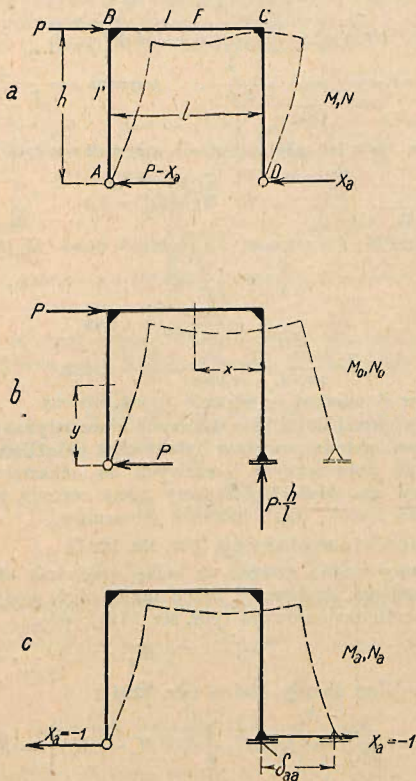


Fig. 408.

przęsłową), dwuprzegubową, oblicza się jak łuk dwuprzegubowy, zaś ramę utwierdzoną jak łuk bezprzegubowy.

Przykład 1. (Fig. 408). Niewiadoma hiperstatyczna:

$$X_a = P \frac{\delta_{ma}}{\delta_{aa}}$$

Słup AB: $M_o = Py$, $M_a = y$, $N_o = P \frac{h}{l}$, $N_a = 0$.

Słup CD: $M_o = 0$, $M_a = y$, $N_o = -P \frac{h}{l}$, $N_a = 0$.

Rozpora BC: $M_o = P \frac{h}{l} x$, $M_a = h$, $N_o = 0$, $N_a = 1$.

$$E\delta_{ma} = \int_A^D M_a \frac{ds}{J} + \int_A^D N_a \frac{ds}{F} = \int_A^B P y \cdot y \cdot \frac{dy}{J^1} + \int_C^B P \frac{h}{l} x \cdot h \frac{dx}{J} = \frac{P}{J^1} \int_0^h y^2 dy +$$

$$+ \frac{P}{J} \frac{h^2}{l} \int_0^l x dx = P \left[\frac{h^3}{3J^1} + \frac{h^2 l}{2J} \right] = P \frac{h^2 l}{J}, \quad \text{gdzie } t = \frac{h}{3} \frac{J}{J^1} + \frac{l}{2}.$$

$$E\delta_{aa} = \int_A^B y^2 \frac{ds}{J^1} + \int_B^C h^2 \frac{dx}{J} + \int_C^D y^2 \frac{dy}{J^1} + \int_B^C \frac{dx}{F} = 2 \int_0^h y^2 \frac{dy}{J^1} + \int_0^l h^2 \frac{dx}{J} + \int_0^l \frac{dx}{F} =$$

$$= \frac{2}{3} \frac{h^3}{J^1} + \frac{h^2 l}{J} + \frac{l}{F} = \frac{h^2}{J} \left(2t + l \frac{J}{F h^2} \right),$$

$$X_a = P \frac{t}{2t + l \frac{J}{F h^2}} = \frac{P}{2 + \varepsilon}, \quad \text{przyczem } \varepsilon = \frac{l}{t} \frac{J}{F h^2}.$$

Dla $F = \infty$, albo $t = 0$, lub gdy zaniedbamy wpływ sił osiowych $X_a = \frac{P}{2}$.

Moment w C: $M_C = -h X_a$,
 „ w B: $M_B = h(P - X_a)$.

Niech: $l = 8 \text{ m}$, $h = 4 \text{ m}$.

Rozpora: 2 | Nr. 30: $F = 117,6 \text{ cm}^2$, $J = 16 052 \text{ cm}^4$. Słupy: 2 | Nr. 28: $J: J^1 = 1,28$,

$$P = 4 \text{ t}, \quad t = \frac{4}{3} 1,28 + \frac{8}{2} = 1,705 + 4 = 5,705 \text{ m},$$

$$\varepsilon = \frac{8}{5,705} \frac{16 052}{117,6 \cdot 400^2} = 0,0012,$$

$$X_a = \frac{4 \text{ t}}{2,0012} = \frac{2}{1,0006} = (2 - 0,0012) \text{ t}.$$

Widać stąd, że wpływ sił osiowych na wielkość X_a jest znikomy.

W przypadku większej ilości niewiadomych hiperstatycznych (ramy wieloprzęsłowe i piętrowe) metoda powyższa byłaby zbyt uciążliwa. Toteż, z uwagi na mały wpływ sił poprzecznych i osiowych na odkształcenia (por. przykład 1.) pomijamy go często i obliczamy ramy metodą punktów stałych, lub metodą równań trzech, wzgl. czterech momentów.

2. Metoda punktów stałych (por. str. 1297).

Każdy pręt ramy można uważać za belkę sprężystie utwierdzoną, o ile pominiemy przesunięcia węzłów. W belce takiej obrót podpory jest proporcjonalny do momentu podporowego (por. str. 1131), więc:

$$\tau_a = -\varepsilon_a M_a \dots \dots \dots (1)$$

Jednakowoż według zasady Mohra (str. 1291):

$$\tau_a = \frac{R_m}{EJ} = \left\{ [A_0] + \frac{1}{6} l (2 M_a + M_b) \right\} = EJ \dots \dots (2)$$

Z porównania (1) i (2) otrzymamy zatem:

$$M_a \left(2 + \frac{1}{l} 6 EJ \varepsilon_a \right) + M_b = -\frac{6 [A_0]}{l} \dots \dots \dots (3)$$

Jeżeli przeszło jest nieobciążone, to $[A_0] = 0$, więc:

$$M_a : M_b = -1 : \left(2 + \frac{1}{l} 6 EJ \varepsilon_a \right) = a : (l - a),$$

stąd odstęp lewego punktu stałego od lewej podpory:

$$a = \frac{l}{3} \frac{1}{l + \frac{1}{l} 2 EJ \varepsilon_a} \dots \dots \dots (4)$$

Jeżeli M_3 jest lewym momentem podporowym przesła znajdującego się na prawo od D (fig. 409) i jeżeli 1, 2 i 3 są punktami nieskończenie bliskimi matematycznego węzła D , to w punktach 1 i 2 powstaną odpowiednio momenty:

$$M_1 = \mu_{31} M_3, \quad M_2 = \mu_{32} M_3 \quad \dots \quad (5)$$

tak, że:

$$M_1 + M_2 = M_3 \quad \dots \quad (6)$$

czyli:

$$\mu_{31} + \mu_{32} = 1 \quad \dots \quad (7)$$

Moment dodatni powoduje wypukłość linii ugięcia w rozporach ku dołowi, w słupach zaś ku prawej stronie (fig. b). Gdyby na koniec 1 pręta $A-1$ działał moment $M=1$ (fig. c), to kąt odchylenia stycznej w punkcie 1 od cięciwy $A-1$ wynosilby γ_1 .

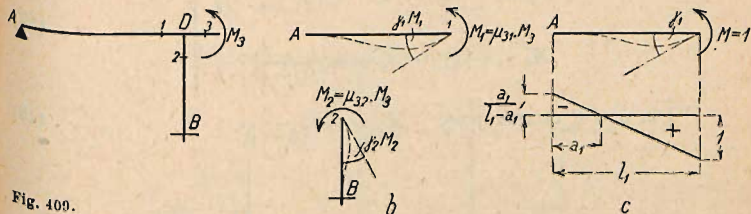


Fig. 409.

Ponieważ zaś moment wynosi M_1 , więc kąt ten będzie $\gamma_1 M_1$ (fig. b). Podobnie kąt odchylenia pręta 2-C jest $\gamma_2 M_2$. Wskutek sztywności węzła B obrót jego:

$$\epsilon_3 M_3 = \gamma_1 M_1 = \gamma_2 M_2 \quad \dots \quad (8)$$

Z równań (5), (6) i (8) wynika:

$$\frac{1}{\epsilon_3} = \frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} \quad \dots \quad (9)$$

$$\mu_{31} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2}, \quad \mu_{32} = \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2} \quad \dots \quad (10)$$

Jeżeli w A jest utwierdzenie sprężyste, określone wartością a_1 (fig. c), to podstawiając we wzorze na $[B_0]$ tabl. I., str. 1293, poz. 20, $M_b = 1$, $M_a = -\frac{a_1}{l_1 - a_1}$,

otrzymamy:

$$\gamma_1 = \frac{[B_0]}{EJ_1} = \frac{l_1}{6EJ_1} \left(2 - \frac{a_1}{l_1 - a_1} \right) \quad \dots \quad (11)$$

Jeżeli A jest podporą skrajną, wolną, to $a = 0$,

więc:

$$\gamma_1 = \frac{l_1}{3EJ_1} \quad \dots \quad (12)$$

W przypadku utwierdzenia zupełnego jak w punkcie B (fig. d): $a_2 = l_2 : 3$,

więc:

$$\gamma_2 = \frac{l_2}{4EJ_2} \quad \dots \quad (13)$$

Jeżeli tylko jedno przesło jest obciążone, to linia momentów we wszystkich rozporach lewych przechodzi przez lewe punkty stałe, we wszystkich rozporach prawych przez prawe punkty stałe, a w słupach przez dolne punkty stałe. W przesle obciążonym wykres momentów składa się z trapezu, odpowiadającego ujemnym momentom podporowym i wykresu momentów dodatnich dla belki wolno podpartej.

Zamykającą linię momentów znajdziemy wykreślić przy pomocy punktów stałych i linii krzywych, jak w belce ciągłej (por. str. 1298, równ. 7). Można to zrobić i analitycznie. Pionowy odstęp zamykającej od punktu stałego lewego:

$$\text{podobnie: } \left. \begin{aligned} S_a &= t_b \frac{a}{l} \\ S_b &= t_a \frac{b}{l} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

Momenty podporowe wynoszą:

$$\left. \begin{aligned} M_a &= -S_a - (S_a - S_b) \frac{a}{l - a - b} \\ M_b &= -S_b - (S_b - S_a) \frac{b}{l - a - b} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

$$\text{Dla } b = 0 \text{ otrzymujemy } M_a = -t_b \frac{a}{l - a} \dots \dots \dots (16)$$

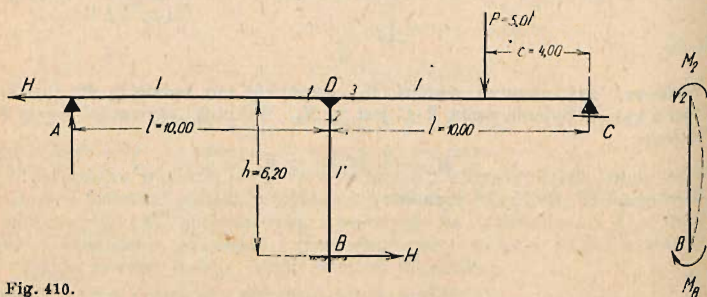


Fig. 410.

Przyjmując po kolei każde przesło obciążone, sumujemy następnie algebraicznie rzędne poszczególnych wykresów dla otrzymania rzeczywistego obrazu momentów wskutek równoczesnego obciążenia wszystkich przęseł.

Przykład 2. (Fig. 410). $l = 10 \text{ m}$, $h = 6,2 \text{ m}$, $J : J' = 3 : 2$, $c = 4 \text{ m}$, $P = 5 \text{ t}$. Znaleźć momenty przy węźle D: M_1 , M_2 , M_3 , moment stopowy M_B i moment w miejscu działania siły P M_P i oddziaływania A, B, C.

$$\text{Wedle (11): } \gamma_1 = \frac{l}{3EJ}, \quad \text{wedle (12): } \gamma_2 = \frac{h}{4EJ'}$$

Nazwijmy dla skrócenia:

$$\gamma_1 : \gamma_2 = \frac{4}{3} \frac{l}{h} \frac{J'}{J} = k = \frac{4 \cdot 10 \cdot 2}{3 \cdot 6,2 \cdot 3} = 1,433, \quad \text{to } \mu_{31} = \frac{1}{k+1} = \frac{1}{2,433} = 0,41 \text{ (równ. 10).}$$

$$\mu_{32} = 1 - \mu_{31} = \frac{k}{k+1} = 0,59, \quad \gamma_1 = \frac{l}{3EJ} \text{ (równ. 12),}$$

$$\frac{1}{\epsilon_3} = \frac{1}{\gamma_1} (1+k) \text{ (równ. 9),} \quad \epsilon_3 = \frac{\gamma_1}{1+k} = \frac{l}{3EJ(1+k)}$$

$$\frac{6EJ\epsilon_3}{l} = \frac{2}{1+k} = \frac{2}{2,433} = 0,822, \quad a = \frac{l}{3 + \frac{2}{1+k}} = \frac{10}{3,822} = 2,615 \text{ m,}$$

$$t_b = \frac{6}{l} P \frac{6 \cdot 4 \cdot 14}{6 \cdot 10} = 16,8 \text{ tm (równ. 7, str. 1298, poz. 2, tabl. 1., str. 1292).}$$

$$M_3 = -t_b \frac{a}{l-a} = -16,8 \frac{2,615}{7,385} = 5,95 \text{ tm (równ. 16).}$$

$$M_1 = -0,41 \cdot 5,95 = -2,44 \text{ t/m}, \quad M_2 = -0,59 \cdot 5,95 = -3,51 \text{ t/m}.$$

Kontrola: $M_1 + M_2 = M_3, \quad 2,44 + 3,51 = 5,95,$

$$M_B = -\frac{1}{2} M_2 = +1,755 \text{ t/m},$$

$$M_P = P \frac{c(l-c)}{l} + M_3 \frac{c}{l} = \frac{4}{10} (5 \cdot 6 - 5,95) = 0,4 \cdot 24,05 = 9,62 \text{ t/m},$$

$$A = \frac{M_1}{l} = -0,244 \text{ t},$$

$$C = P \frac{c}{l} + \frac{M_3}{l} = (5 \cdot 0,4 + 0 - 5,95) : 10 = 1,405 \text{ t},$$

$$B = P - A - C = 5 - 1,161 = 3,839 \text{ t},$$

$$H = M_2 : h - M_B : h = (M_2 - M_B) : h = (-3,51 - 1,755) : 6,2 = -\frac{5,265}{6,2} = -0,85 \text{ t}.$$

W rozporze AD wystąpi ciążnienie $N = H = 0,85 \text{ t}.$

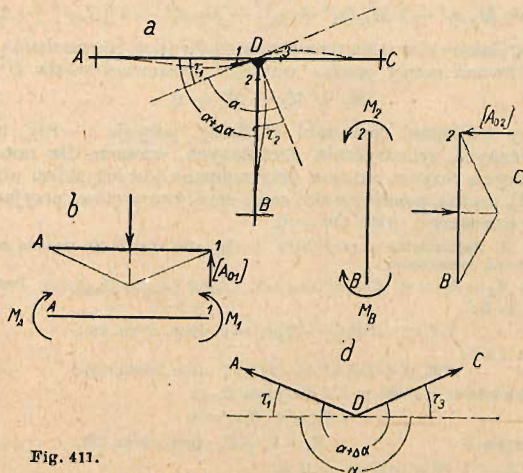


Fig. 411.

3. Metoda równań trzech, wzgl. czterech momentów (czysto rachunkowa).

Weźmy pod uwagę zpośród prętów, schodzących się w sztywnym węźle D, pręty A-1 i 2-B, zamykające ze sobą kąt α (fig. 411 a). Wskutek obciążenia pręty te wygną się, węzły się przesuną i kąt pomiędzy cięciwami A-1 i 2-B będzie wynosił $\alpha + \Delta \alpha$. Kąt między cięciwą A-1 a styczną w 1:

$$\tau_1 = \left[[A_{01}] + \frac{1}{6} s_1 (2 M_1 + M_A) \right] : EJ_1 \dots \dots \dots (17)$$

por. str. 1295.

Dla pręta 2-B będzie odpowiednio:

$$\tau_2 = \left[[A_{02}] + \frac{1}{6} s_2 (2 M_2 + M_B) \right] : EJ_2 \dots \dots \dots (18)$$

Z figury a) czytamy: $\alpha + \Delta \alpha + \tau_2 = \alpha + \tau_1$

czyli: $\tau_1 - \tau_2 = \Delta \alpha \dots \dots \dots (19)$

Wstawmy (17) i (18) w (19) i nazwijmy:

$$s_1 \frac{J_0}{J_1} = s_1', \quad s_2 \frac{J_0}{J_2} = s_2', \quad [A_{02}] \frac{J_0}{J_2} = [A_{02}'],$$

to otrzymamy równanie czterech momentów:

$$6 EJ_0 \Delta \alpha_{12} = M_A s_1' + 2 M_1 s_1' - 2 M_2 s_2' - M_B s_2' + 6 ([A_{01}'] - [A_{02}']). \quad (20)$$

Dla prętów $A-1$ i $3-C$ byłoby (fig. d): $\alpha + \Delta\alpha = \alpha + \tau_1 + \tau_2$, stąd zamiast (19):

$$\tau_1 + \tau_2 = \Delta\alpha_{13},$$

zatem równanie czterech momentów będzie:

$$6 EJ_0 \Delta\alpha_{13} = M_A s_1' + 2 M_1 s_1' + 2 M_3 s_3' + M_C s_3' + 6 ([A_{01}'] + [A_{03}']) \cdot (21)$$

Jeżeli w węźle D schodzą się tylko dwa pręty, np. $A-1$ i $2-B$, to $M_1 = M_2 = M_D$, więc zamiast (20) będzie:

$$6 EJ_0 \Delta\alpha_{12} = M_A s_1' + 2 M_D (s_1' - s_2') - s_2' M_B + 6 ([A_{01}'] - [A_{02}']) \cdot (22)$$

Analogicznie dla prętów $A-1$ i $3-C$ byłoby zamiast (21) z uwagi na $M_1 = M_3 = M_D$:

$$6 EJ_0 \Delta\alpha_{13} = M_A s_1' + 2 M_D (s_1' + s_3') + M_C s_3' + 6 ([A_{01}'] + [A_{03}']) \cdot (23)$$

Są to uogólnione równania trzech momentów (por. równanie (4), str. 1295). Prócz tych równań mamy jeszcze warunek równowagi węzła D :

$$M_1 + M_2 - M_3 = 0 \dots \dots \dots (24)$$

Dla ramy trójkątnej (por. tabl. C. Ramy, pozycje 1—10), tudzież dla ram symetrycznych, symetrycznie obciążonych, wreszcie dla ram wieloprzęsłowych, których rozpora skrajna przytrzymana jest łożyskiem nieruchomym (por. fig. 413), można, pomijając skrócenie sprężyste prętów, przyjąć, że węzły nie doznają przesunięć, więc $\Delta\alpha = 0$.

Przykład 3. Zagadnienie z przykładu 2. (fig. 410) rozwiązać metodą równań trzech względnie czterech momentów,

Tutaj jest $M_A = M_C = 0$, $\Delta\alpha_{12} = \Delta\alpha_{13} = 0$, $[A_{01}] = [A_{02}] = [A_{03}] = 0$. Będzie więc dla prętów $A-1$ i $2-B$:

$$2 M_1 s_1' - 2 M_2 s_2' - M_B s_2' = 0 \quad (\text{por. równ. 20});$$

dla prętów $A1$ i $3C$:

$$2 M_1 s_1' + 2 M_3 s_3' = -6 [A_{03}'] \quad (\text{por. równ. 21});$$

dla pręta nieskończenie małego w B i dla pręta $B-2$:

$$2 M_B s_2' + M_2 s_2' = 0,$$

wreszcie dla węzła D :

$$M_3 = M_1 + M_2 \quad (\text{por. równ. 18}).$$

Obierzmy $J_0 = J$, to $s_1' = s_3' = 10 \text{ m}$,

$$s_2' = h \frac{J}{J'} = 6,2 \frac{3}{2} = 9,3 \text{ m},$$

$$6 [A_{03}'] = 6 [A_{03}] = 6 P \frac{(l-c)c(l+c)}{6l} = 5,0 \frac{6,0 \cdot 4,0 \cdot 14,0}{10,0} = 168 \text{ tm}^2,$$

(por. tabl. I., str. 1292, poz. 2).

Równania momentów podporowych będą zatem:

$$20 M_1 - 18,6 M_2 - 9,3 M_B = 0,$$

$$20 M_1 + 20 (M_1 + M_2) = -168 \text{ tm}^2,$$

$$2 M_B + M_2 = 0.$$

Stąd:

$$M_2 = -\frac{168 \text{ tm}^2}{47,9 \text{ m}} = -3,51 \text{ tm},$$

$$M_1 = \frac{27,9}{40} M_2 = -2,45 \text{ tm},$$

$$M_3 = M_1 + M_2 = -5,98 \text{ tm}.$$

$$M_B = -M_2 = 2 = +1,755 \text{ tm}.$$

Wartości M_P , A , B , C i H patrz przykład 2.

Dla ramy prostokątnej (fig. 412) otrzymujemy (ponieważ prostokąt zamienić się może tylko na równoległobok):

$$\Delta\alpha + \Delta\beta = 0,$$

$$\Delta\beta + \Delta\gamma = 0,$$

$$\Delta\gamma + \Delta\delta = 0.$$

W innych przypadkach posłużyć się możemy równaniem (11), str. 1244:

$$\sum y \Delta \alpha = \Delta l - \sum \Delta s \cos \varphi.$$

Jeżeli opuścimy wpływ sił osiowych, to:

$$\sum \Delta s \cos \varphi = \omega t \Delta l.$$

Zamiast l możemy obrać którykolwiek pręt, np. s_{1n} , wtedy:

$$\sum y \Delta \alpha = \Delta s_{1n} - \omega t s_{1n}.$$

Jeżeli podpory są sztywne, to $\Delta l = 0$.

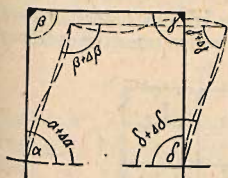


Fig. 412.

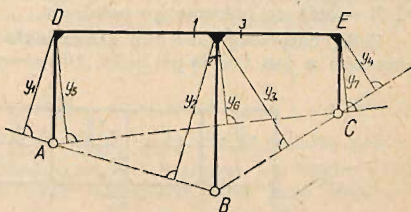


Fig. 413.

Dla ramy wedle fig. 413 mamy np. dla dowolnego obciążenia:

$$\Delta s_{AB} = 0 = y_1 \Delta \alpha_D + y_2 \Delta \alpha_{12},$$

$$\Delta s_{BC} = 0 = y_3 \Delta \alpha_{23} + y_4 \Delta \alpha_E,$$

$$\Delta s_{AC} = 0 = y_5 \Delta \alpha_D + y_6 (\Delta \alpha_{12} + \Delta \alpha_{23}) + y_7 \Delta \alpha_E.$$

Przyrosty $\Delta \alpha_D$ i $\Delta \alpha_E$ wyrażą się przy pomocy równań trzech momentów, zaś $\Delta \alpha_{12}$ i $\Delta \alpha_{23}$ przy pomocy równań czterech momentów.

Jeżeli rama zostaje ogrzana równomiernie o t° , to lewe strony równań powyższych będą odpowiednio — $\omega t s_{AB}$, — $\omega t s_{BC}$ i $\omega t s_{AC}$.

H. Belki bezprzekątniowe.¹⁾

Napisał

inż. dr. Stefan Bryła, profesor politechniki, Lwów.

Omówimy tu wyłącznie belki bezprzekątniowe równoległe²⁾. a) Obciążenie pionowe stałe (fig. 414). Przyjmujemy, iż ciężary węzłowe skutkiem obciążenia stałego działają w węzłach pasa dolnego.

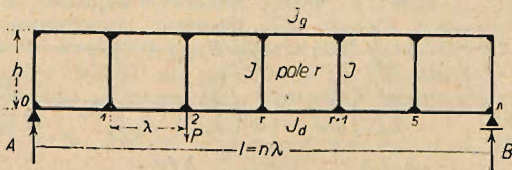


Fig. 414.

Dla wyznaczenia sił wewnętrznych sprowadzamy belkę do układu zasadniczego, tj. belki w dwu punktach wolno podparte, przyjmując każdy pręt pasa górnego przy pomocy dołem (lub pasa dolnego przy pomocy

¹⁾ Belki bezprzekątniowe nazywamy czasem belkami Vierendeel'a.

²⁾ Według Kriso, „Statik der Vierendeelträger“, rok 1922.