

w zbiornikach zaledwie po kilku miesiącach. Można więc uważać, iż praktycznie nie zachodzi tu wcale strącanie zawieszonych w cieczy cząsteczek ciała stałego. Mieszanka zawiera 30-50% węgla kamiennego, sproszkowanego, którego 95% przechodzi przez sito № 200 (6400 otworów w 1 cm²). Używać można również antracytu i lignitów. Inna mieszanka składa się z 45% ropy, 20% smoly i 35% sproszkowanego węgla. Do mieszanin tych dodaje się 1% ciała przeciwdziałającego osiadaniu. Skład ciała tego jest utrzymywany w tajemnicy.

Spalanie paliwa koloidalnego przy odpowiednim regulowaniu jest całkowite. Dymu wcale się nie otrzymuje. Popiół, pochodzący ze spalania, otrzymuje się w postaci proszku, bardzo miłkiego i wcale się nie spieka.

Wobec braku bliższych szczegółów, trudno powiedzieć o ile mieszanie pyłu z ropą jest korzystniejsze od stosowania samego pyłu węglowego. Należy przypuszczać, iż paliwo koloidalne może być stosowane z korzyścią jedynie tam, gdzie obok oleju skalnego i taniej smoly ma się do rozporządzenia węgiel kamienny, mało wartościowy, nie znajdujący zastosowania, lub nie mogący wytworzyć wymaganej wysokiej temperatury.

Obliczanie podwójnej ramy symetrycznej o słupach utwierdzonych na podporze.

Podał dr. inż. Stefan Władysław Bryła.

(Dokończenie do str. 142 w № 29-32 r. b.)

Przypadek III. Obciążenie jednostajnie rozłożone na słupie (rys. 3).

Równanie zasadnicze otrzymujemy w postaci:

Dla obciążenia:

$$a_4 = 1.$$

Dla utwierdzenia słupów:

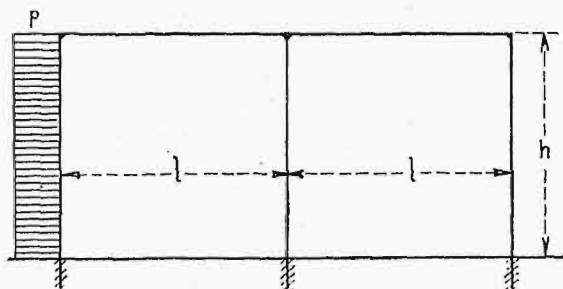
$$a = a_1 = c = c_1 = e = e_1 = 0.$$

Dla ugięć pionowych:

$$\begin{aligned} b = 0 & & b_1 + b_2 + b_3 = 0 \\ d = 0 & & d_1 + d_2 + d_3 = 0. \end{aligned}$$

Dla ugięć poziomych:

$$a_2 + a_3 + 1 = c_2 + c_3 \quad a_2 + a_3 + 1 = e_2 + e_3.$$



Rys. 3.

Dla równości kątów ugięcia:

$$\begin{aligned} \frac{ph^3}{24 EJ} (2a_2 + 3a_3 + 4) &= \frac{pl^3}{24 E_1 J_1} b_1, \\ \frac{pl^3}{24 E_1 J_1} (b_1 + 2b_2 + 3b_3) &= \frac{ph^3}{24 EJ} (2c_2 + 3c_3) = \frac{pl^3}{24 E_1 J_1} d_1, \\ \frac{pl^3}{24 E_1 J_1} (d_1 + 2d_2 + 3d_3) &= \frac{ph^3}{24 EJ} (2e_2 + 3e_3). \end{aligned}$$

Dla równości momentów w narożach:

$$\begin{aligned} \frac{ph^2}{24} (2a_2 + 6a_3 + 12) - \frac{pl^2}{24} 2b_2 &= 0, \\ \frac{pl^2}{24} (2b_2 + 6b_3) + \frac{ph^2}{24} (2c_2 + 6c_3) - \frac{pl^2}{24} 2d_2 &= 0, \\ \frac{pl^2}{24} (2d_2 + 6d_3) + \frac{ph^2}{24} (2e_2 + 6e_3) &= 0, \end{aligned}$$

Dla przekroju poziomego przez słupy:

$$-\frac{ph}{24} (6a_3 + 6c_3 + 6e_3) - ph = 0.$$

Rozwiązując te równania, możemy wyrazić wszystkie niewiadome przez a_2 i a_3 .

Otrzymamy wtedy:

$$\begin{aligned} b_1 &= st(2a_2 + 3a_3 + 4) \\ b_2 &= s(a_2 + 3a_3 + 6) \\ b_3 &= -s[(2t + 1)a_2 + 3(t + 1)a_3 + 4t + 6] \\ c_2 &= \left(7 + \frac{1}{t}\right)a_2 + 3\left(3 + \frac{1}{t}\right)a_3 + \left(11 + \frac{6}{t}\right) \\ c_3 &= -\left(6 + \frac{1}{t}\right)a_2 - \left(8 + \frac{3}{t}\right)a_3 - \left(10 + \frac{6}{t}\right) \\ d_1 &= -s[(4t + 1)a_2 + (6t + 3)a_3 + 8t + 6] \\ d_2 &= -s\left[\left(6t + 13 + \frac{2}{t}\right)a_2 + \right. \\ &\quad \left. + 3\left(3t + 7 + \frac{2}{t}\right)a_3 + 12t + 31 + \frac{12}{t}\right] \\ d_3 &= s\left[\left(10t + 14 + \frac{2}{t}\right)a_2 + \right. \\ &\quad \left. + 3\left(5t + 8 + \frac{2}{t}\right)a_3 + 20t + 37 + \frac{12}{t}\right] \end{aligned} \quad (11).$$

Obie niewiadome a_2 i a_3 otrzymamy z rozwiązania dwu równań następujących:

$$\begin{aligned} (6t^2 + 14t + 2)a_2 + (12t^2 + 24t + 6)a_3 + \\ + 20t^2 + 37t + 12 = 0 \\ (24t^3 + 54t^2 + 34t + 4)a_2 + (36 + 90t^2 + \\ + 66t + 12)a_3 + 48t^3 + 133t^2 + 110t + 24 = 0. \end{aligned} \quad (11a).$$

Z równań tych otrzymamy znów a_2 i a_3 , a następnie resztę potrzebnych niewiadomych.

Momenty wyznaczmy według równań (4).

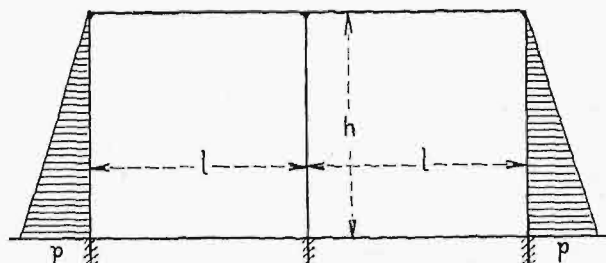
Siły poprzeczne przęseł poziomych:

$$\begin{aligned} V_{ba}, V_{bc}, V_{ac} &\text{ według równań (5).} \\ V_{ab} &= -\frac{pl}{4} d_3 \dots \dots \dots (12). \end{aligned}$$

Parcia poziome według (6).

Odziaływanie według (7).

Przypadek IV. Obciążenie na słupach wzrastające według trójkąta (rys. 4).



Rys. 4.

Równania zasadnicze:

$$\begin{aligned} b_2 &= -2b_1 & a_4 &= 5 \\ b_3 &= b_1 & a_5 &= -1 \\ a &= a_1 = 0 & b &= 0 \\ a_2 + a_3 + 4 &= 0, \\ \frac{pl^3}{120 E_1 J_1} b_1 &= \frac{ph^3}{120 EJ} (2a_2 + 3a_3 + 20 - 5), \\ \frac{ph^2}{24} (2a_2 + 6a_3 + 40) - \frac{pl^2}{24} 2b_2 &= 0 \\ a_2 + a_3 + 4 &= 0 \\ st(2a_2 + 3a_3 + 15) &= b_1 \\ s(a_2 + 3a_3 + 20) - b_2 &= 0 \\ b_2 &= -2b_1 \\ b_3 &= b_1. \end{aligned}$$

Z równań tych otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} a_3 &= -\frac{8+7t}{1+t} & a_2 &= \frac{4+3t}{1+t} \\ b_1 = b_3 &= -\frac{st}{1+t} & b_2 &= -2b_1 = \frac{2st}{1+t} \end{aligned} \right\} \quad (13).$$

Momenty podporowe:

$$\left. \begin{aligned} M_a &= -\frac{ph^2}{12} (+a_2 - e_2) \\ M_c &= 0 \\ M_s &= -M_a \end{aligned} \right\} \quad (14).$$

Siły poprzeczne:

$$\left. \begin{aligned} V_{ba} &= -\frac{pl}{120} 6b_3 = -\frac{pl}{20} b_3 \\ V_{bc} &= -\frac{pl}{20} b_3 = -V_{ba} = -V_{dc} = V_{ds} \end{aligned} \right\} \quad (15).$$

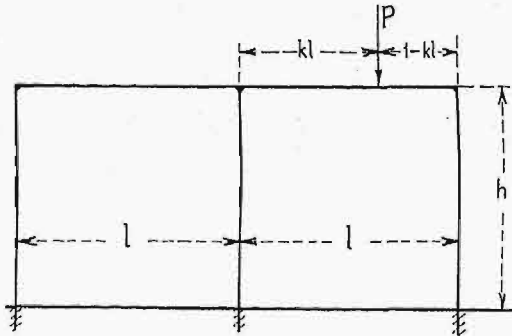
Parcia poziome:

$$H_a = -\frac{pl}{20} b_3 \quad (16).$$

Oddziaływania:

$$\left. \begin{aligned} O_a &= -\frac{pl}{20} b_3 = V_{ba} = O_c \\ O_b &= 2V_{bc} = -2O_2 \end{aligned} \right\} \quad (17).$$

Przypadek V. Obciążenie ciężarem jednostajnym na jednym z przęseł pionowych (rys. 5).



Rys. 5.

Równania zasadnicze:

Dla obciążenia:

$$\begin{aligned} d - d' &= k^3 \\ f_1 - f_1' &= -3k^2 \\ f_2 - f_2' &= 3k \\ f_3 - f_3' &= -1. \end{aligned}$$

Dla utwierdzenia słupów:

$$a = a_1 = c = c_1 = e = e_1 = 0$$

Dla ugięć pionowych:

$$\begin{aligned} b &= 0 & b_1 + b_2 + b_3 &= 0 \\ d &= 0 & d' + d_1' + d_2' + d_3' &= 0. \end{aligned}$$

Dla ugięć poziomych:

$$\begin{aligned} \frac{h^3}{6EJ} (a + a_1 + a_2 + a_3) &= \frac{h^3}{6EJ} (c + c_1 + c_2 + c_3) = \\ &= \frac{h^3}{6EJ} (e + e_1 + e_2 + e_3), \end{aligned}$$

czyli $a_2 + a_3 = c_2 + c_3 = e_2 + e_3$.

Dla równości kątów ugięcia:

$$\frac{h^3}{6EJ} (a_1 + 2a_2 + 3a_3) = \frac{l^2}{6E_1J_1} b_1;$$

$$\frac{h^2}{6EJ} (c_1 + 2c_2 + 3c_3) = \frac{l^2}{6E_1J_1} (b_1 + 2b_2 + 3b_3) = \frac{l^2}{6E_1J_1} d_1;$$

$$\frac{l^2}{6E_1J_1} (d_1' + 2d_2' + 3d_3') = \frac{h^2}{6EJ} (e_1 + 2e_2 + 3e_3).$$

Dla równości kątów w narożach:

$$\frac{h}{6} (2a_2 + 6a_3) - \frac{l}{6} \cdot 2b_2 = 0$$

$$\frac{l}{6} (2b_2 + 6b_3) + \frac{h}{6} (2c_2 + 6c_3) - \frac{l}{6} 2d_2 = 0$$

$$\frac{l}{6} (2d_2' + 6d_3') + \frac{h}{6} (2e_2 + 6e_3) = 0.$$

Dla przekroju przez słupy:

$$-\frac{P}{6} (6a_3 + 6c_3 + 6e_3) = 0.$$

Wyrażając kolejno z poszczególnych równań niewiadome przez a_2 i a_3 , otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= st(2a_2 + 3a_3) \\ b_2 &= s(a_2 + 3a_3) \\ c_2 &= a_2 \frac{1+7t}{t} + a_3 \frac{3+4t}{t} \\ c_3 &= -a_2 \frac{1+6t}{t} - 3a_3 \frac{1+3t}{t} \\ d_1' &= -a_2 s(1+4t) - 6a_3 st + 3k^2 \\ d_2' &= -a_2 \frac{s}{t} (2 + 13t + 6t^2) - \\ &\quad - a_3 \frac{s}{t} (6 + 29t + 9t^2) - 3k \\ d_3' &= a_2 \frac{s}{t} (2 + 14t + 10t^2) + a_3 \frac{s}{t} (6 + 29t + \\ &\quad + 15t^2) + k(3 - 3k + k^2) \\ e_2 &= \frac{a_2}{t^2} (6 + 45t + 71t^2 + 4t^3) + \frac{a_3}{t^2} (18 + \\ &\quad + 87t + 57t^2 + 6t^3) + \frac{k^2}{s} (k - 3) + \\ &\quad + \frac{9k}{st} (1 - k)^2 \\ e_3 &= \frac{a_2}{t^2} (2 + 15t + 24t^2) + \\ &\quad + \frac{a_3}{t^2} (6 + 29t + 19t^2) + \frac{3k}{st} (1 - 2k + k^2). \end{aligned} \right\} \quad (18).$$

Obie wartości a_2 i a_3 , znajdujące się w tych równaniach, wyznaczmy z równań następujących:

$$\left. \begin{aligned} a_2 (8 + 60t + 94t^2 + 4t^3) + a_3 (24 + 116t + \\ 75t^2 + 6t^3) + \frac{kt}{s} \{ k(k-3)t + 12(1-k)^2 \} &= 0 \\ a_2 (2 + 14t + 18t^2) + a_3 (6 + 26t + 11t^2) + \\ + \frac{3tk(1-k)^2}{s} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18a).$$

Dla punktów podporowych otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} M_a &= \frac{ph^2}{12} (-a_2) \\ M_c &= \frac{ph^2}{12} (-c_2) \\ M_s &= \frac{ph^2}{12} (-e_2) \end{aligned} \right\} \quad (19).$$

Podobnie siły poprzeczne, parcia poziome i oddziaływanie obliczymy z wzorów analogicznych do 5, 6, 7.

Równania 18 i 18a posłużą też bezpośrednio do wyznaczenia linii wpływowych. Równanie linii wpływowej momentów pierwszego przęsła belki dla ciężaru w drugim przęśle ma np. kształt:

$$M = -\frac{l}{6} (2b_2 + 6b_3 \xi) \quad (20).$$

Analogicznie uzyskać możemy równania innych linii wpływowych.

Przykład. Przepust żelbetowy podwójny o przekroju prostokątnym ma wysokość osiową 2,00 m, rozpiętość osiową $2 \times 2,33$ m. Obciążenie stałe wynosi $g = 1425$ kg/m, obciążenie ruchome (pociąg) $p = 4167$ kg/m. Parcie ziemi na ściany boczne z powodu ciężaru nasypu 1020 kg/m, z powodu nadsypki 454 kg/m, parcie z powodu ciężaru pociągu 1250 kg/m. Należy obliczyć największe oddziaływania i momenty działające na fundament.

Niech $\frac{J_1}{J} = 1,709, \quad s = 0,5625, \quad t = -0,0223.$

Równania (2) otrzymamy wtedy w postaci:

$$(6 \cdot 1,282^2 + 14 \cdot 1,282 + 2)a_2 + (12 \cdot 1,282^2 + 24 \cdot 1,282 + 6)a_3 + \frac{1}{0,5625} = 0$$

$$(24 \cdot 1,282^3 + 54 \cdot 1,282^2 + 34 \cdot 1,282 + 4)a_2 + (36 \cdot 1,282^3 + 90 \cdot 1,282^2 + 66 \cdot 1,282 + 12)a_3 + \frac{1}{0,5625}(3 \cdot 1,282 + 2) = 0,$$

a stąd:

$$a_2 = -0,0223,$$

a dalej: $c_2 = -0,498 \quad e_2 = +0,368$
 $b_3 = +0,155 \quad d_3 = -2,126.$

Podobnie z równań (11):

$$a_2 = +2,174, \quad c_2 = +1,051, \quad e_2 = 0,954,$$

$$b_3 = 0,0923, \quad d_3 = 0,248.$$

Wreszcie z równań (13):

$$a_2 = +3,438, \quad b_3 = -0,816.$$

Pod uwagę wziąć musimy nast. rodzaje obciążenia:

I. Dla obciążenia stałego:

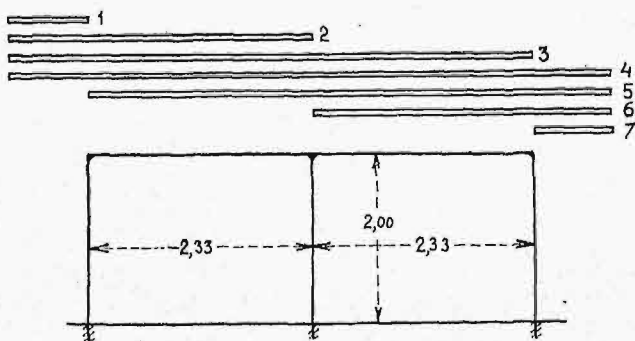
- a) obciążenie z góry (wzory 8 i 9),
- b) parcie na ściany boczne bezpośrednio (wz. 14, 15),
- c) parcie na ściany boczne od nadsypki (wz. 4, 5, 12),

II. Dla obciążenia ruchomego na całym przepuszcisku:

- d) obciążenie z góry (wz. 8 i 9),
- e) parcie na ściany boczne (wz. 4, 5, 12).

III. Dla obciążenia ruchomego jednostronnego:

- f) obciążenie z góry na jednym przęśle (np. prawem; wz. 4 i 5),
- g) parcie na ścianę (np. prawą; wz. 4, 5, 12).



Rys. 6.

Otrzymamy wtedy dla obciążeń j. w. oraz:

$$g' = 1020 \text{ kg}, \quad g'' = 454, \quad p' = 1250.$$

Dla obciążeń:	a	b	c	d	e	f	g
Momenty a . . .	185	-234	-192	541	-528	31	397
c . . .	0	0	0	0	0	690	439
e . . .	-185	234	192	-541	+528	-511	+903
Oddziaływania a .	1430	38	41	4190	114	377	181
c .	3790	-76	-82	11070	-228	5530	-114
e .	1430	38	41	4190	114	4570	-67

Najniebezpieczniejsze rodzaje obciążenia otrzymamy, porównyując sumy odpowiednich momentów i oddziaływań.

Mogą zająć bowiem wszystkie podane na rys 6. Z nich weźmiemy w danym wypadku pod uwagę:

- 1) obciążenie 5 dla punktu a, oraz
- 2) " " " " e.

Otrzymamy wtedy:

$$1) M_{a5} = 185 - 234 - 192 + 541 + 397 = 697 \text{ kg/m}$$

$$O_{a5} = 1430 + 38 + 41 + 4190 + 181 = 5880 \text{ kg.}$$

$$2) M_{e2} = -185 + 234 + 192 - 511 + 903 = 633 \text{ kg/m,}$$

$$O_{e2} = -1430 + 38 + 41 + 4570 - 67 = 6012 \text{ kg.}$$

Pamiętać tylko trzeba, że znaki + i - na oznaczenie momentów mają inne znaczenie niż przyjmuje się zazwyczaj. Mianowicie znak + otrzymuje ten moment, który obraca w prawo od punktu początkowego danej części belki, t. j. dla słupa a od A, dla słupa c od C.

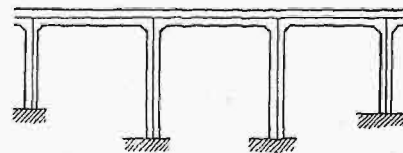
STATYKA BUDOWLANA.

O ramach wieloprzęsłowych.

Podał B. Milkowski, inż.

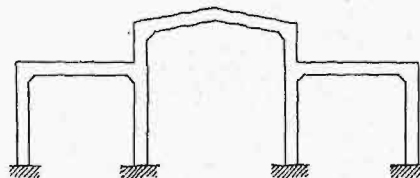
(Dokończenie do str. 165 w № 33-36-44-48 r. b.)

III. Układy ramowe, o których tu traktować mam zamiar, podlegają pewnym ograniczeniom kształtu (rys. 15). Mianowicie górna część musi mieć kształt belki równej wyokości z nieznacznym pogrubieniem w rodzaju konsoli na oporze. Znaczniejsze podniesienie środkowego pasa daje parcie poziome i do wyliczenia takich układów trzeba stosować zasady łuków ciągłych bezprzegubowych (rys. 16). Natomiast podstawy słupów mogą się znajdować w różnych poziomach.



Rys. 15.

Podane niżej wzory mają charakter ogólny i mogą być stosowane do ram, składających się tak z kratownic nieznacznych wysokości w stosunku do rozpiętości, jak i części o pełnym przekroju. Rama jednoprzęsłowa ze sztywnym umocowaniem słupów jest ustrojem trzykrotnie statycznie niewyznaczalnym. Dodanie każdego następnego przęsła powiększa liczbę wielkości niewyznaczalnych o trzy, tym sposobem układ o n przęsłach jest układem 3n razy niewyznaczalnym i do wyliczenia odporów potrzeba utworzyć tyleż równań, wyrażających związki między odporami i siłami



Rys. 16.

zewnętrzniemi. Musimy więc dla każdego słupa oprócz pierwszego napisać trzy warunki odkształcenia. Dla jasności rysunków układ przedstawiać będziemy schematycznie liniami. Niech ab i bc (rys. 17) będą dwa sąsiednie przęsła odkształcone wskutek działania sił zewnętrznych. Sztywne połączenie słupa środkowego z belką wymaga, aby kąty utworzone stycznymi do krzywych odkształcenia z pierwotnymi ich kierunkami, były jednakowe, t. j. powinno być: $\tau_b' = \tau_a = \tau_c$. Trzecie brakujące równanie daje warunek, że belka nie może swobodnie się przesuwać na oporze, czyli przesunięcie poziome dl głowicy słupa musi być funkcją kątów τ i sił zewnętrznych. Oznaczając jak dla belek