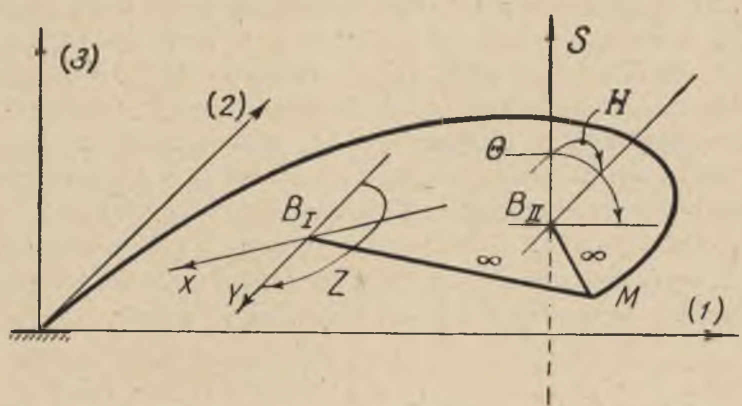
ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
Nr 15 BUDOWNICTWO Z.2 1957

Zbigniew Budzianowski

Obliczanie ram przestrzennych za pomocą biegunów sprężystych

Wstęp

Praca niniejsza stanowi dalszy ciąg pracy [1] poświęconej analizie własności biegunów sprężystych. Bieguny te odniesiono w wymienionej pracy do płaskich ustrojów prętowych występujących w układach płaskich i przestrzennych. Przedstawiono w niej również metodę rozwiązywania tych układów nazywając ją metodą biegunów sprężystych. Z przeprowa-



Rys. 1

dzonej analizy wynikło, że każdy pręt ustroju płaskiego posiada dwa, najczęściej różne bieguny B_I i B_{II} (rys. 1). Biegun B_I służy do rozwiązywania układów płaskich, tj. ustrojów płaskich obciążonych w swej płaszczyźnie. Zaczepione są w nim dwie sprzężone siły X i Y oraz moment Z. Z kolei Biegun B_{II} wraz z działającymi nań dwoma sprzężonymi momentami H i Θ

[1] Zbigniew Budzianowski. *Biegun sprężysty jako reduktor równań sprężystości.* Wrocławskie Towarzystwo Naukowe. Seria B, nr 72. Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1955.

Cytując dalej powyższą pracę autor używa symbolu [1].

oraz siłą S rozwiązuje ten ustrój w przypadku obciążeń prostopadle skierowanych. Dzięki temu, że żadna z wymienianych sił uogólnionych nie powoduje przemieszczeń pobocznych na kierunkach sił pozostałych, można sprowadzić równania sprężystości do form zredukowanych.

Rozpatrując pręt przestrzennie wykształcony łatwo jest stwierdzić, że w ogólnym przypadku nie uda się już zgrupować sił wewnętrznych w jednym lub kilku nawet punktach w sposób zapewniający eliminację wszystkich przemieszczeń pobocznych. Można by było co najwyżej wyznaczyć punkty dające częściową eliminację przemieszczeń pobocznych, co by ułatwiło wprawdzie rozwiązanie ustroju metodą sił, lecz nie odpowiadałoby jeszcze warunkom stawianym przez metodę biegunów sprężystych. Rozstajemy się więc w ustrojach przestrzennych z klasycznie pojętym biegunem sprężystym, który by z uwagi na zgrupowane w nim siły określić można mianem bieguna złożonego. Robimy to jednak bez żalu, ponieważ zdajemy sobie sprawę, że gdyby nawet takie bieguny istniały, to wyznaczenie ich współrzędnych oraz kierunków sprzężonych byłoby niezmiernie uciążliwe i praktycznie nieopłacalne.

Odstępując od pojęcia bieguna złożonego można jednak z kolei wprowadzić biegun w nowej postaci określając go mianem bieguna pojedynczego. Pozwoli on nam na utrzymanie w całej rozciągłości metody biegunów sprężystych również przy rozwiązywaniu ustrojów przestrzennych. Aby nadać zamkniętą formę niniejszej pracy i możliwie jak najbardziej uniezależnić ją od pierwszej [1], konieczne stanie się powtórzenie w niektórych ustępach pewnych zagadnień tam wyłożonych.

Pracę niniejszą wykonano na zlecenie Zakładu Mechaniki Ośrodków Ciągłych PAN w 1953 r. i za jego zgodą wydrukowano. Ponieważ w 1955 r. wydana została praca [1], więc konieczne stało się pewne przeredagowanie pierwotnego tekstu do jego obecnej formy.

Podstawowe pojęcia metody biegunów sprężystych w zastosowaniu do ram przestrzennych

Jeśli w pewnym przekroju dwustronnie utwierdzonego i przestrzennie wykształconego pręta założymy łożysko umożliwiające tylko jedno przemieszczenie, to łożysko takie nazwiemy biegunem pojedynczym. Słowem przemieszczenie określamy przesunięcie lub obrót dwu wydzielonych łożyskiem przekrojów pręta. Gdybyśmy w rozpatrywanym przekroju umieścili sześć łożysk umożliwiających wykonanie sześciu ogółem możliwych przemieszczeń, a mianowicie trzech przesunięć i trzech obrotów, to byłoby to jednoznaczne z pełnym przecięciem pręta. Przecięty pręt zostaje wówczas zwolniony z działania sześciu wielkości statycznie niewyznaczalnych. Obliczenie tych sześciu niewiadomych w sposób wzajemnie niezależny jest niemożliwe. Jest to zrozumiałe wobec poprzedniego stwierdzenia, że pręt przestrzennie wykształcony nie ma bieguna złożonego. Możliwe jest natomiast bezpośrednie obliczenie jednej niewiadomej w przypadku jednego tylko łożyska. Przykład tego obliczenia przeprowadzimy ze względów dydaktycznych najpierw dla ustroju płaskiego, posługując się przy tym zasadą Bettiego-Maxwella. W tym celu zastąpimy badany układ rzeczywisty (rys. 2a) układem zastępczym (rys. 2b). Układ zastępczy stworzymy, zakładając w odnośnym przekroju łożysko i zaczepiając w nim siły wewnętrzne X_p^n. W przedstawionym przykładzie łożysko jest biegunem wałkowym, zaś X_p^n momentem uniemożliwiającym wzajemny obrót końców pręta w przegubie, gdy ustrój obciążony jest siłami P. Otrzymany w ten sposób układ zastępczy jest statycznie równowarty układowi rzeczywistemu. Posługując się zasadą wzajemności przemieszczeń, odniesioną do układów przedstawionych na rysunkach 2b i 2d, otrzymamy równanie

$$\sum P \cdot \delta_{px}^{n-1} + X_p^n \cdot \delta_{xx}^{n-1} = 1 \cdot 0,$$

z którego obliczymy zredukowane równanie sprężystości

$$X_p^n = - \frac{P \cdot \delta_{px}^{n-1}}{\delta_{xx}^{n-1}} \tag{1}$$

Wskaźniki n i n-1 oznaczają stopień statycznej niewyznaczalności ustroju. Siła X_p^n jest s i ł ą b i e g u n o w ą, występujące zaś w mianowniku przemieszczenie δ_{xx} jako niezależne od obciążenia określa się mianem c e c h y s p r ę ż y s t e j bieguna.

Posługując się w analogiczny sposób układami przedstawionymi na rysunkach 2d i 2f obliczyć można również wartość biegunowej siły X^{Δ}, wywołanej przemieszczeniem podpory

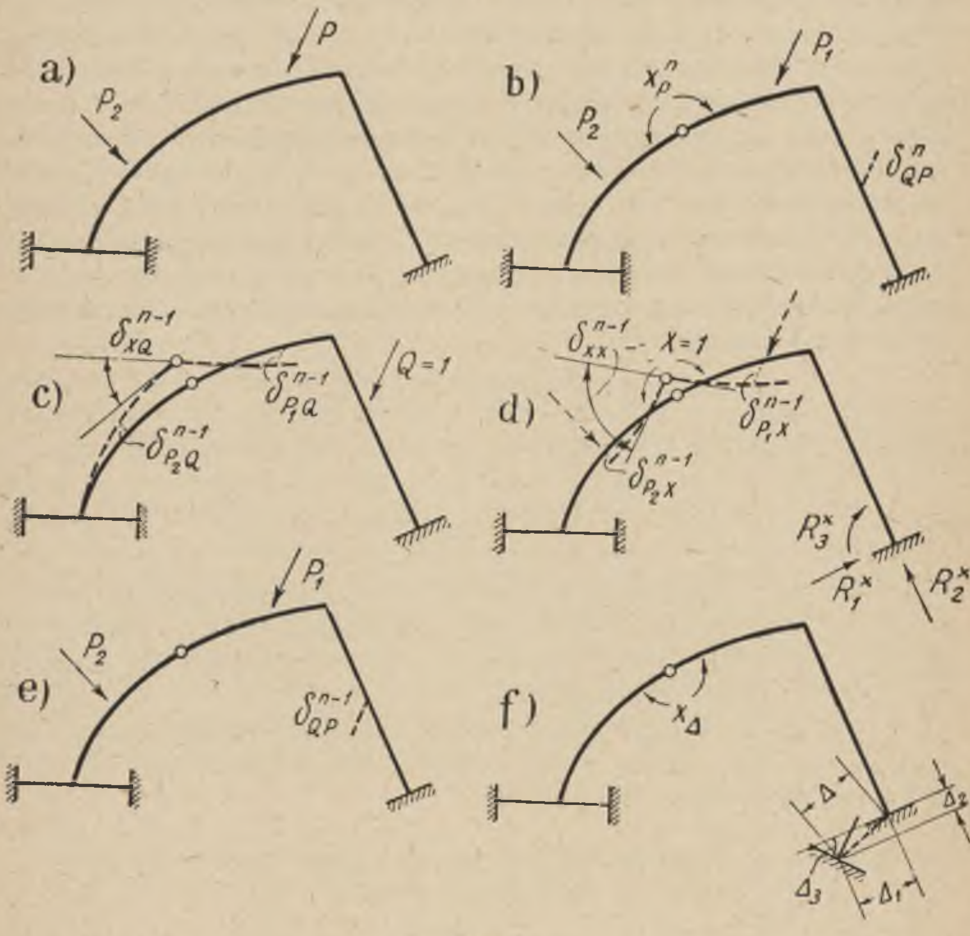
$$1 \cdot 0 + \sum_{r=1}^{3} R_r^x \cdot \Delta_r = X^{\Delta} \cdot \delta_{xx}^{n-1}$$

$$X^{\Delta} = + \frac{R_r^x \cdot \Delta_r}{\delta_{xx}^{n-1}} \tag{2}$$

W równaniu tym R_r^x oznacza składową reakcji wywołanej siłą $X = 1$, zaś Δ_r — składową przemieszczenia, mierzoną na kierunku składowej R_r^x.

Założone łożysko zgodnie z przyjętą definicją jest biegunem sprężystym, ponieważ zaczepiona w nim wielkość statycznie niewyznaczalna, jako jedyna, spełnia warunek niezależności przemieszczeń pobocznych. W analogiczny sposób traktujemy pozostałe bieguny w przekroju oraz przynależne do nich niewiadome. Nader korzystne w biegunie pojedynczym jest to, że jego współrzędne oraz kierunek działania w nim jedynej siły są z góry określone współrzędnymi łożyska i umożliwionym przez nie przemieszczeniem.

Z biegunów pojedynczych korzystano już częściowo w [1] przy obliczaniu belek ciągłych, ramy piętrowej, kratownicy o węzłach sztywnych



Rys. 2

i belki Vierendella, z tą jednak różnicą, że identyfikowano je tam wyłącznie z łożyskiem wałkowym. Łożyska te rozmieszczono w ustroju w ten sposób, że przy równoczesnym działaniu zapewniały mu one statyczną wyznaczalność. Przy takim podejściu do zagadnienia siły biegunowe sprowadzały się wyłącznie do momentów węzłowych, co było jednak korzystne tylko dla ustrojów płaskich, a niecelowe jest w przypadku ustrojów przestrzennych.

Za pomocą zredukowanego równania sprężystości (1) można obliczyć każdą siłę biegunową X_p^n w rozpatrywanym przekroju n-krotnie statycznie niewyznaczalnego układu, gdy znane jest dla układu przygotowanego, otrzymanego przez założenie jednego łożyska, tj. dla układu n-1-krotnie statycznie niewyznaczalnego, przemieszczenie δ_{px}. Dla rozwiązania zagadnienia zestawimy n-krotnie statycznie niewyznaczalny układ zastępczy (rys. 2b) z n-1-krotnie statycznie niewyznaczalnym układem przygotowanym, otrzymanym przez założenie łożyska wałkowego (rys. 2c). W układzie przygotowanym przyjmiemy jako obciążenie siłę $Q = 1$, działającą w punkcie i kierunku interesującego nas w układzie zastępczym przemieszczenia δ_{QP}^n.

Pod wpływem obciążenia siłą Q końce prętów połączonych łożyskiem dokonają wzajemnego obrotu o kąt δ_{xQ}^{n-1}. Punkty zaczepienia sił P przeniesione na układ przygotowany doznają w kierunku działania tych sił przesunięć δ_{PQ}^{n-1}. Korzystając dla obu układów z zasady wzajemności przemieszczeń otrzymamy

$$1 \cdot \delta_{QP}^n = \Sigma P \cdot \delta_{PQ}^{n-1} + X_p^n \cdot \delta_{xQ}^{n-1}$$

W analogiczny sposób ułożymy równanie dla układów przedstawionych na rysunku 2c i e.

$$\sum_1^n P \cdot \delta_{PQ}^{n-1} = 1 \cdot \delta_{QP}^{n-1}$$

Uwzględniając z kolei, że $\delta_{xQ}^{n-1} = \delta_{Qx}^{n-1}$ oraz zgodnie z równaniem (1)

$\delta_{Qx}^{n-1} = -X_Q^n \cdot \delta_{xx}^{n-1}$ otrzymamy ostatecznie

$$\boxed{1 \cdot \delta_{QP}^n = 1 \cdot \delta_{QP}^{n-1} - X_p^n \cdot X_Q^n \cdot \delta_{xx}^{n-1}} \qquad (3)^1$$

Równanie to jest równaniem biegunowym odniesionym do bieguna pojedynczego. Jest ono równaniem redukcyjnym, ponieważ podaje, że przemieszczenie δ_{QP}^n mierzone w dowolnym punkcie układu n-krotnie statycznie niewyznaczalnego jest równe analogicznie mierzonemu przemieszczeniu δ_{QP}^{n-1} w układzie n-1-krotnie niewyznaczalnym, zmniejszonemu o iloczyn biegunowych sił X_p^n i X_{Qx}^n oraz odpowiadającej założonemu łożysku cechy sprężystej δ_{xx}^{n-1}. Biegunowe siły X_p^n i X_Q^n są wewnętrznymi siłami wywołanymi przez siły P i $Q = 1$ w układzie rzeczywistym n-krotnie statycznie niewyznaczalnym.

Posługując się równaniem biegunowym (3) obliczymy również przemieszczenia w układach o niższym stopniu statycznej niewyznaczalności.

[1] Dla bieguna złożonego ogólna postać równania biegunowego przedstawia się następująco:

$$1 \cdot \delta_{QP}^n = 1 \cdot \delta_{QP}^{n-1} - \Sigma\, X_p^n \cdot X_q^n \cdot \delta_{xx}^{n-1}.$$

$$1 \cdot \delta_{QP}^{n-1} = 1 \cdot \delta_{QP}^{n-2} - X_p^{n-1} \cdot X_Q^{n-1} \cdot \delta_{xx}^{n-2}$$

$$-\quad 1 \cdot \delta_{QP}^{n-2} = 1 \cdot \delta_{QP}^{n-3} - X_p^{n-2} \cdot X_Q^{n-2} \cdot \delta_{xx}^{n-3}$$

....

$$1 \cdot \delta_{QP}^{1} = 1 \cdot \delta_{QP}^{0} - X_p^{1} \cdot X_Q^{1} \cdot \delta_{xx}^{0}$$

Wstawiając wartości tych przemieszczeń do równania biegunowego (3) dostaniemy równanie biegunowe odniesione do ustroju statycznie wyznaczalnego

$$\boxed{1 \cdot \delta_{QP}^{n} = 1 \cdot \delta_{QP}^{0} - \sum_{n=1}^{n} X_p^{n} \cdot X_Q^{n} \cdot \delta_{xx}^{n-1}} \tag{4}$$

gdzie δ_{QP}^{0} oznacza przemieszczenie w układzie statycznie wyznaczalnym.

Równanie biegunowe pozwala na obliczenie każdego przemieszczenia w ustroju n-krotnie niewyznaczalnym. Posługując się równaniem (1)

$$X_p^{n+1} = -\frac{\Sigma P \cdot \delta_{px}^{n}}{\delta_{xx}^{n}}$$

potrafimy zatem obliczyć wartość siły biegunowej w układzie $n+1$-krotnie niewyznaczalnym.

Wyprowadzone w powyższy sposób dla układów płaskich równanie biegunowe zachowuje w całej rozciągłości swą ważność również w odniesieniu do układów przestrzennych.

Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia kwestia występujących w równaniu biegunowym przemieszczeń $\delta_{Q(P\Delta)}^{0}$. Przemieszczenia te mierzone w miejscu i kierunku zaczepienia siły $Q = 1$, a wywołane siłami P i przemieszczeniem Δ podpory, oblicza się za pomocą równania pracy. Dla pręta przestrzennie obciążonego równanie pracy przybiera postać

$$1 \cdot \delta_{Q(P,\Delta)}^{0} + \Sigma R_Q \cdot \Delta = \int \varkappa_1 \frac{X_1^P \cdot X_1^Q\, ds}{GF} + \int \frac{X_2^P \cdot X_2^Q}{EF} ds +$$

$$+ \int \varkappa_3 \frac{X_3^P \cdot X_3^Q}{GF} ds + \int \frac{X_4^P \cdot X_4^Q}{EI_1} ds + \int \frac{X_5^P \cdot X_5^Q}{GI_2} ds + \int \frac{X_6^P \cdot X_6^Q}{EI_3} ds \tag{5}$$

W równaniu tym wprowadzono wg rysunku 3 następujące oznaczenia:

X_{1-6} — wielkości sił i momentów w pręcie,

$J_{1(3)}$ — momenty bezwładności względem osi 1(13),

R_Q — składowe reakcji pręta wspornikowego obciążonego siłą $Q = 1$, mierzone na podporze, która doznała przemieszczenia.

Δ — składowe przemieszczenia podpory, mierzone w kierunku składowych R_Q.

W najogólniejszym przypadku istnieje sześć składowych reakcji podporowej (3 siły i 3 momenty) oraz sześć składowych przemieszczeń podpory (3 przesunięcia i 3 obroty).

W przypadku prętów o przekroju prostokątnym można równanie (5) bardziej ujednolicić przez wprowadzenie następujących wartości:

$$I_1 = \frac{bh^3}{12} = J \qquad I_2 = \frac{hb^3}{12} = \frac{b^2}{h^2} \cdot J = nJ$$

$$I_z = \frac{F^4}{I_0 \Psi} \qquad \Psi = 42{,}34\,^{[1]} \qquad G = 0{,}385\, E$$

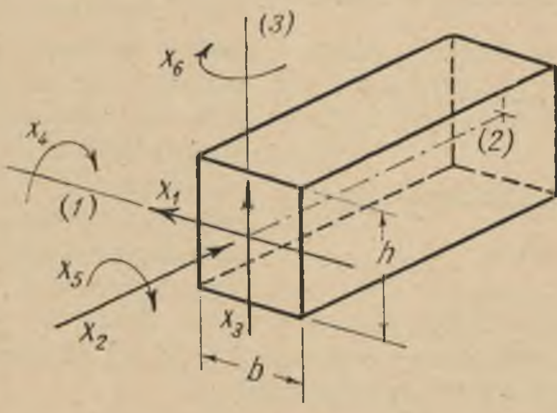
$$\frac{1}{GI_z} = C \cdot \frac{1}{EI}, \tag{6}$$

gdzie
$$C = 0{,}764\left(1 + \frac{h^2}{b^2}\right).$$

Przybierze ono wtedy postać następującą:

$$1 \cdot \delta_{Q(P\Delta)} + \sum R_Q \cdot \Delta = \frac{1}{0{,}385}\int \varkappa_1 \frac{X_1^P \cdot X_1^Q}{EF}\, ds + \int \frac{X_2^P \cdot X_2^Q}{EF}\, ds + \tag{7}$$
$$+ \frac{1}{0{,}385}\int \varkappa_3 \frac{X_3^P \cdot X_3^Q}{EF}\, ds + \int \frac{X_4^P \cdot X_4^Q}{EI}\, ds + C\int \frac{X_5^P \cdot X_5^Q}{EI}\, ds + \frac{1}{n}\int \frac{X_6^P \cdot X_6^Q}{EI}\, ds.$$

Przy obliczaniu przemieszczeń w układach płaskich równanie pracy uprości się. Dla obciążeń siłami zewnętrznymi działającymi w płaszczyźnie



Rys. 3

ustroju 2,3 występują tylko wielkości X_2, X_3, X_4, w przypadku zaś obciążeń prostopadle skierowanych do tej płaszczyzny, tj. leżących w 1, 2 wystąpią wielkości X_1, X_5, X_6 (rys. 3).

---

[1] Wartości ψ dla przekrojów prostokątnych o wymiarach $b/h = 0{,}5$ do 1,5 wahają się w granicach od 42 do 42,68 — M. Huber, *Stereomechanika techniczna*, t. 1, 1947.

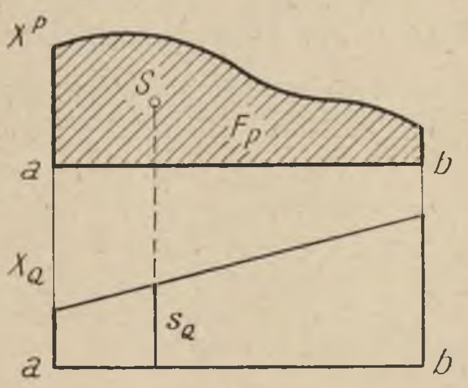
Równania pracy (5) i (7) pozwalają na uwzględnienie wszystkich wpływów w pręcie. Najczęściej jednak przy zagadnieniach prętowych opuszczamy wpływ sił poprzecznych i osiowych. Przy takim uproszczeniu równanie pracy dla dowolnie wykształconego pręta płaskiego o nieprzesuwnych podporach obciążonego w swej płaszczyźnie 2, 3 przybierze znaną postać

$$1 \cdot \delta^0_{QP} = \frac{X^p_4 \cdot X^Q_4}{EI} \, ds \, . \tag{7a}$$

Dla tego samego pręta, obciążonego siłami skierowanymi prostopadle do jego płaszczyzny, dowolne przemieszczenie obliczyć można uwzględniając tylko moment zginający X_6 i skręcający X_5.

$$1 \cdot \delta^0_{QP} = \frac{1}{n} \int \frac{X^p_6 \cdot X^Q_6}{EJ} \, ds + C \int \frac{X^p_5 \cdot X^Q_5}{EI} \, ds \, . \tag{7b}$$

W ustrojach kratowych lub kombinowanych z prętami osiowo pracującymi musi się uwzględniać ponadto siłę osiową X_2.



Rys. 4

Za pomocą równania pracy możemy również obliczać przemieszczenia w ustroju statycznie niewyznaczalnym, pod warunkiem jednak, że znane są wykresy momentów i sił działających w prętach tego ustroju. Obliczenie poszczególnych całek równania pracy przeprowadza się dla prętów krzywych metodą analityczną lub graficzno-analityczną. Bardzo natomiast upraszcza się to obliczenie w przypadku ustroju o prętach prostych. Można bowiem łatwo udowodnić, że jeśli choć jedna z wielkości X^Q, X^p ma zmienność liniową, to dla pręta prostego o stałej sztywności EI

$$\int \frac{X^Q \cdot X^p}{EI} \, ds = F_p \cdot S_Q \cdot \frac{1}{EI}, \tag{8}$$

przy czym wprowadzono oznaczenia:

X^Q — siła uogólniona posiadająca na całej długości pręta zmienność liniową,

F_p — powierzchnia krzywoliniowego wykresu X^p,

S_Q — rzędna liniowo zmiennej wielkości X^Q, mierzona pod środkiem ciężkości powierzchni F_p (rys. 4).

Jeśli obie wielkości X^Q i X^p mają zmienność liniową, to sposób ich wzajemnego potraktowania w równaniu (8) jest obojętny.

Równanie (8) pozwala nam zatem na bardzo proste obliczenie przemieszczeń za pomocą jedynie elementarnych działań. Zauważa się, że całki występujące przy rozwiązywaniu ustrojów o prętach prostych posiadają przynajmniej jedną z wielkości zmiennych liniowo w każdym z tych prętów.

Podane na rysunku 5 przykłady obliczeń ilustrują te możliwości. Odnoszą się one do belek obciążonych działającym na podporze momentem X_1, obciążeniem jednostajnym q t/mb oraz siłą skupioną P. Dla tych obciążeń znaleziono kąty ugięcia δ_{x2x1}, δ_{xQ} oraz przesunięcie δ_{xp}. W identyczny sposób oblicza się również wielkości przemieszczeń wywołanych siłami poprzecznymi i osiowymi oraz momentami skręcającymi. Przemieszczenie punktu pręta łamanego złożonego z członów prostych określa się dodając całki, obliczone podanym sposobem dla wszystkich prętów. Całki mają znak dodatni, gdy wielkości podcałkowe są tego samego znaku, ujemne zaś, gdy te wielkości mają znaki przeciwne. Znak ujemny wskazuje na to, że rzeczywisty kierunek przemieszczenia jest przeciwny kierunkowi przyjętej przez nas siły jednostkowej.

Sposób obliczania

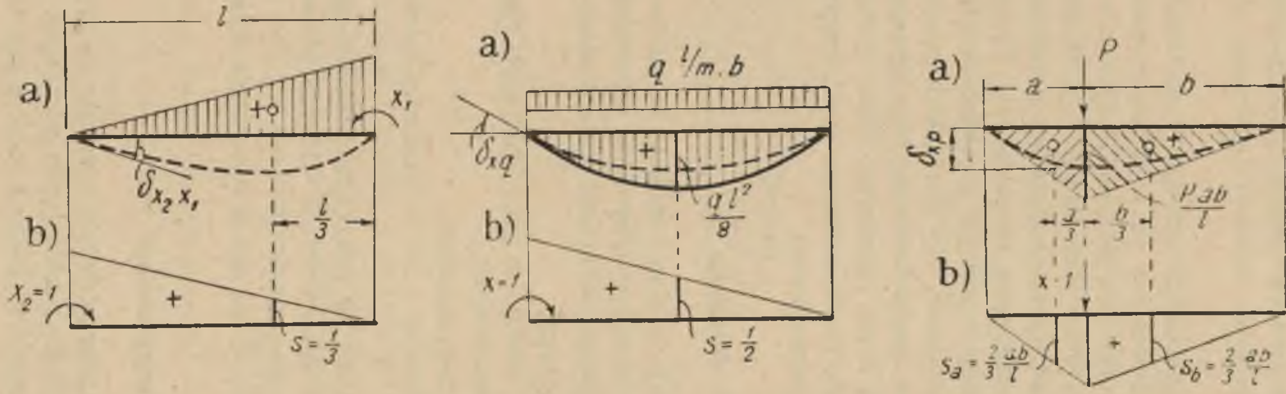
Rozwiązując przestrzenne ustroje prętowe metodą biegunów sprężystych posługujemy się pojęciami przedstawionymi w poprzednim ustępie. Zachowujemy przy tym następującą kolejność postępowania:

1. przyjęcie ustroju przygotowanego,
2. obliczenie cech sprężystych ustroju w jego kolejnych etapach,
3. obliczenie etapowych sił biegunowych,
4. obliczenie rzeczywistych sił biegunowych,
5. wyznaczenie rozkładu momentów i sił w poszczególnych prętach ustroju.

Tok obliczeń zilustrowany zostanie na przykładach bezprzegubowych ram przestrzennych, dwu- i sześciosłupowych, z których pierwsza jest 6, zaś druga 36-krotnie statycznie niewyznaczalna (rys. 9 i 15). Pierwsza rama jest obciążona siłą pionową P, druga zaś symetrycznie działającymi na ustrój siłami poziomymi W.

1. Ustrój przygotowany

Statycznie wyznaczalne ustroje przygotowane uzyskuje się przez przecięcie rozpór. Przecięcia te realizuje się zakładając w odnośnym przekroju sześć łożysk, z których każde umożliwi jedno z sześciu przemieszczeń



$$F_{x_1} = \frac{x_1 l}{2}$$

$$\delta_{x_2 x_1} = \frac{x_1 l}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot \frac{1}{EJ} = \frac{x_1 l}{6EJ}$$

$$F_q = \frac{2}{3} \cdot \frac{q l^2}{8} \cdot l = \frac{q l^3}{12}$$

$$\delta_{xQ} = \frac{q l^3}{12} \cdot \frac{1}{2EJ} = \frac{q l^3}{24EJ}$$

$$F_a = \frac{Pab}{l} \cdot \frac{a}{2} = \frac{Pa^2 b}{2l}$$

$$F_b = \frac{Pab}{l} \cdot \frac{b}{2} = \frac{Pab^2}{2l}$$

$$\delta_{xP} = \frac{1}{EJ}\left(\frac{Pa^2 b}{2l} \cdot \frac{2}{3} \frac{ab}{l} + \frac{Pab^2}{2l} \cdot \frac{2}{3} \frac{ab}{l}\right) = \frac{Pa^2 b^2}{3lEJ}$$

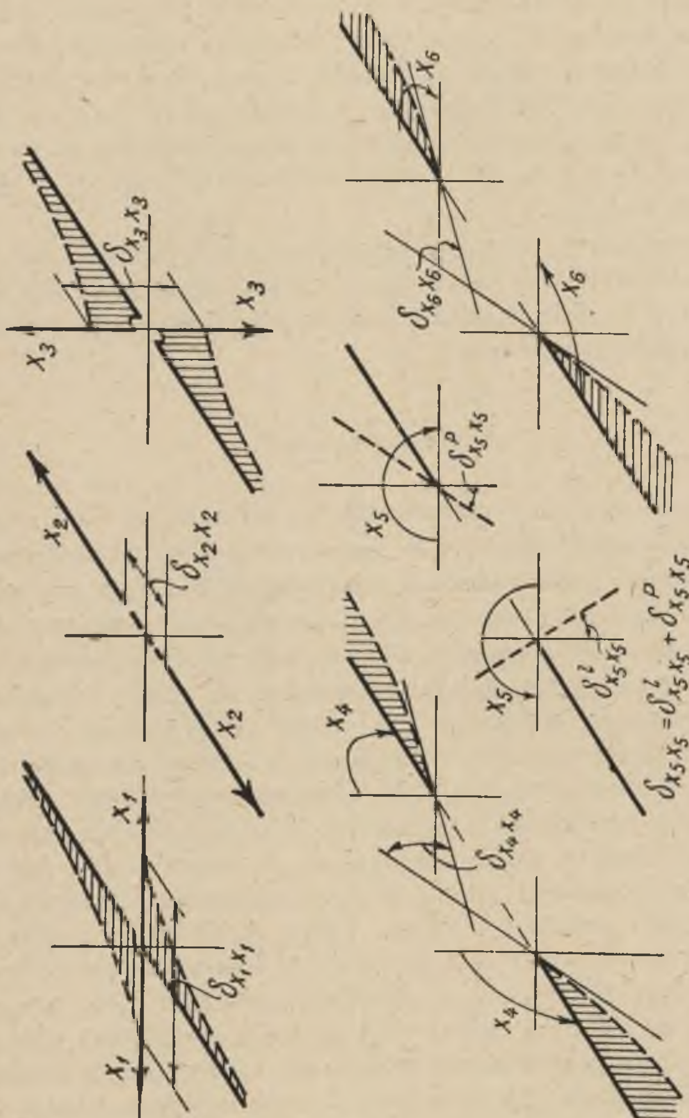
Rys. 5

przedstawionych na rysunku 6. Kolejność zakładania tych łożysk w przekroju oraz kolejność przecinania przekrojów należy ustalić na wstępie, po czym konsekwentnie jej przestrzegać. Kolejność tę uwidacznia się przez numerację sił wewnętrznych wyzwalanych łożyskami oraz przez numerację przekrojów. W przykładzie pierwszym występują siły X_{1-6}, w przykładzie drugim zaś siły $X_{1-6}, Y_{1-6}, W_{1-6}, Z_{1-6}$. Każdy przekrój posiada zatem sześć łożysk. Dla uniknięcia pomyłek należy przy każdym dokonanym przecięciu uwidocznić przyjęte przez nas kierunki sił wewnętrznych w łożyskach (rys. 10, 16). Obrane kierunki traktuje się w dalszym obliczeniu jako dodatnie.

Po przyjęciu ustroju przygotowanego wyznacza się momenty zginające i skręcające, wywołane w tym ustroju przez jednostkowe siły wewnętrzne (rys. 11, 17). Jeśli zachodzi potrzeba, wyznacza się również siły osiowe ewentualnie poprzeczne.

2. Cechy sprężyste

Mianem tym określamy mianowniki δ_{xx} występujące w zredukowanych równaniach sprężystości [1]. W interpretacji kinetycznej cecha sprężysta jest składową przemieszczenia mierzoną na kierunku siły wywołującej to przemieszczenie. Tego rodzaju składowe przemieszczenia określamy również jako przemieszczenie własne. Jeśli założone łożyska będziemy w ustalonej poprzednio kolejności sprzęgać, to znaczy uniemożliwiać wykonanie właściwych im ruchów, to badany ustrój przejdzie przez szereg etapów. W etapie ostatnim, tj. w etapie, w którym sprzęgnięto wszystkie łożyska, badany ustrój staje się ustrojem rzeczywistym. Obliczenie cech sprężystych przeprowadza się kolejno w poszczególnych etapach badanego ustroju. Badany ustrój znajduje się na r-tym etapie, gdy wszystkie łożyska o numeracji niższej zostały poprzednio sprzęgnięte, tzn. gdy sprzęgniętych zostało r-1 łożysk. Cecha sprężysta na r-tym etapie określona jest przemieszczeniem $\delta_{x_r x_r}$, które dokona się w r-tym łożysku pod wpływem zaczepionej w nim dwójki sił $X_r = 1$. W ustroju, na który działają siły X_r, r-1 łożysk zostało już sprzęgniętych. Obliczenie cech sprężystych ustroju przeprowadzamy dla każdego etapu rozpoczynając od etapu pierwszego, tzn. od ustroju statycznie wyznaczalnego i przechodząc w ustalonej kolejności przez wszystkie etapy następne. Przy obliczaniu cech sprężystych posługujemy się równaniem biegunowym (3) i (4). Obliczenie cechy sprężystej łożyska uważa się za równoznaczne z jego sprzęgnięciem. Ponieważ w równaniu biegunowym występują siły biegunowe X_p i X_Q, więc musimy po obliczeniu każdej cechy sprężystej obliczyć siły biegunowe wywołane w łożysku przez jednostkowe siły bie-


x_1
$\delta_{x_1 x_1}$
x_2
$\delta_{x_2 x_2}$
x_3
$\delta_{x_3 x_3}$
x_4
$\delta_{x_4 x_4}$
x_5
$\delta^p_{x_5 x_5}$
$\delta^l_{x_5 x_5}$
$\delta_{x_5 x_5} = \delta^l_{x_5 x_5} + \delta^p_{x_5 x_5}$
x_6
$\delta_{x_6 x_6}$

Rys. 6

gunowe, odpowiednio zaczepione w łożyskach jeszcze nie sprzęgniętych. Przykładowo podano dla przekroju posiadającego sześć łożysk sposób obliczenia cechy sprężystej na czwartym etapie.

$$\delta^0_{x_4 x_4} = \ldots\ldots\ldots \ldots\ldots \text{ równ. pracy (5)}$$

$$\delta_{x_4 x_4} = \delta^0_{x_4 x_4} - X_1^{x_4} \cdot X_1^{x_4} \cdot \delta_{x_1 x_1} - X_2^{x_4} \cdot X_2^{x_4} \cdot \delta_{x_2 x_2} - X_3^{x_4} \cdot X_3^{x_4} \cdot \delta_{x_3 x_3}$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_5 x_4} = \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ równ. pracy (5)}$$

$$\delta_{x_5 x_4} = \delta^0_{x_5 x_4} - X_1^{x_5} \cdot X_1^{x_4} \cdot \delta_{x_1 x_1} - X_2^{x_5} \cdot X_2^{x_4} \cdot \delta_{x_2 x_2} - X_3^{x_5} \cdot X_3^{x_4} \cdot \delta_{x_3 x_3}$$

$$X_4^{x_5} = - \frac{\delta_{x_4 x_5}}{\delta_{x_4 x_4}}$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_6 x_4} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ równ. pracy (5)}$$

$$\delta_{x_6 x_4} = \delta^0_{x_6 x_4} - X_1^{x_6} \cdot X_1^{x_4} \cdot \delta_{x_1 x_1} - X_2^{x_6} \cdot X_2^{x_4} \cdot \delta_{x_2 x_2} - X_3^{x_6} \cdot X_3^{x_4} \cdot \delta_{x_3 x_3}$$

$$X_4^{x_6} = - \frac{\delta_{x_5 x_4}}{\delta_{x_4 x_4}}$$

Zauważyć tutaj należy, że iloczyny występujące w równaniu biegunowym można zredukować do dwu wyrazów. Na przykład

$$X_2^{x_6} \cdot X_2^{x_4} \cdot \delta_{x_2 x_2} = - X_2^{x_6} \cdot \frac{\delta_{x_4 x_2}}{\delta_{x_2 x_2}} \cdot \delta_{x_2 x_2} = - X_2^{x_6} \cdot \delta_{x_4 x_2}$$

Zawarte w tych iloczynach czynniki należy wstawiać z uwzględnieniem znaków.

3. Etapowe siły biegunowe

Pod tą nazwą rozumiemy siły biegunowe wywoływane w ustroju przez obciążenia zewnętrzne, przy jego kolejnych etapach sprzęgania. Innymi słowy, etapowa siła biegunowa na r- etapie jest wywołana przez siły zewnętrzne w r- łożysku ustroju, w którym poprzednich r-1 łożysk zostało sprzęgniętych. Przed przystąpieniem do obliczenia sił etapowych należy wyznaczyć momenty i siły wewnętrzne wywołane w ustroju przygotowanym przez obciążenia zewnętrzne (rys. 12 i 18). Obliczenie etapowych sił biegunowych przeprowadza się podobnie jak obliczenie cech sprężystych począwszy od łożyska pierwszego z zachowaniem ustalonej kolejności. Obliczenie etapowej siły biegunowej na danym etapie traktuje się równocześnie jako sprzęgnięcie odnośnego łożyska. Przy obliczaniu etapowej siły biegunowej korzystamy z poprzednio obliczonych cech sprężystych. Dla podanego przykładu obliczenie etatowej siły biegunowej X_4 przedstawiać się będzie następująco:

$$(X_4)\quad \delta^0_{px_4} = \dots\dots\dots \text{ równ. pracy (5)}$$

$$\delta_{px_4} = \delta^0_{px_4} - \overline{X}_1 \cdot X_1^{x_4} \cdot \delta_{x_1x_1} - \overline{X}_2 \cdot X_2^{x_4} \cdot \delta_{x_2x_2} - \overline{X}_3 \cdot X_3^{x_4} \cdot \delta_{x_3x_3}$$

$$\overline{X}_4 = -\frac{\delta_{px_4}}{\delta_{x_4x_4}}$$

W podanych powyżej oraz w dalszym ciągu przykładach obliczeń symbol X_m^{xn} oznacza uogólnioną siłę w biegunie m, wywołaną działaniem uogólnionej siły $X_n = 1$ zaczepionej w biegunie n. Kreska nad znakiem siły oznacza, że jest to siła etatowa. Wszystkie wartości występujące w obliczeniu zostały już poprzednio wyznaczone bądź to przy obliczaniu cech sprężystych, bądź też przy obliczaniu etapowych sił biegunowych w etapach wcześniejszych. Podana poprzednio uwaga dotycząca redukcji wyrazów w iloczynach zachowuje tu nadal swoją ważność.

4 Rzeczywiste siły biegunowe

Obliczenie ostatniej siły etapowej jest zarazem sprzęgnięciem ostatniego łożyska w ostatnim przekroju. W ten sposób ustrój został sprowadzony do stanu rzeczywistego. Ostatnia siła etapowa jest więc równocześnie pierwszą znalezioną rzeczywistą siłą wewnętrzną. W przykładach przedstawionych na rysunkach 10 i 16 siłami tymi są X_6 i Z_6. Następne rzeczywiste siły biegunowe obliczać należy w kolejności odwrotnej, tzn. rozpoczynając od łożyska ostatniego, a kończąc na łożysku pierwszym. Rzeczywista siła biegunowa w r- łożysku jest więc równa sumie etapowej siły biegunowej tego łożyska oraz wpływów wywołanych w tym łożysku przez wyznaczone już poprzednio rzeczywiste siły biegunowe. W naszym przykładzie otrzymamy

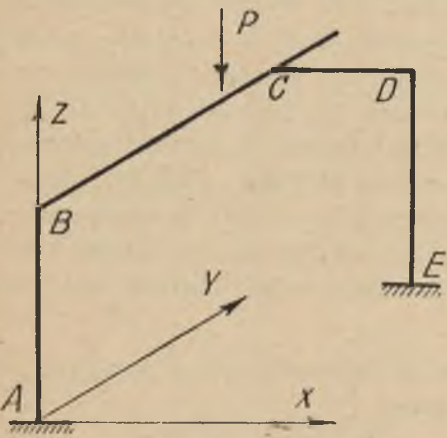
$$X_4 = \overline{X}_4 + X_4^{x_5} \cdot X_5 + X_4^{x_6} \cdot X_6$$

Odpowiednie wartości sił należy wstawiać z uwzględnieniem znaków. Jeśli dla danej siły rzeczywistej wypadnie znak ujemny, tzn. że siła ma kierunek przeciwny niż kierunek przyjęty.

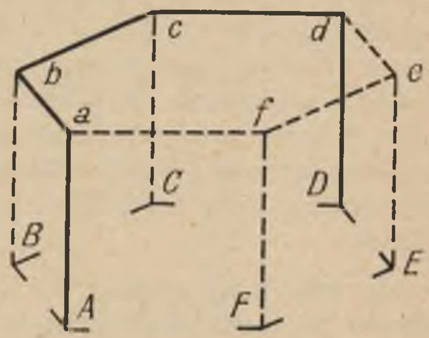
5. Momenty i siły ustrojowe

Ustalenie wykresów momentów i sił sprowadza się do rozwiązania ustroju statycznie wyznaczalnego obciążonego odnośnymi wpływami zewnętrznymi oraz znalezionymi wielkościami rzeczywistych sił biegunowych. Po wyznaczeniu momentów należy skontrolować wyniki. Kontrolę przeprowadza się na dowolnie wyciętym z ustroju, zamkniętym ciągu prętów. Ustrój przedstawiony na rysunku 7 jest typowym przykładem takiego ciągu.

Z ustroju przedstawionego na rysunku 8 możemy wyciąć kilka takich ciągów prętów. Mogą nim być rozpory odcięte od słupów i tworzące wieniec zamknięty *a, b, c, d, e, f*, a bądź też przedstawiona na rysunku kombinacja kilku rozpór i dwu słupów np. *A, a, b, c, d, D*. Tak pomyślany



Rys. 7



Rys. 8

ciąg prętów ma tę właściwość, że jeżeli przetniemy go w dowolnym przekroju, a następnie spowodujemy w nim odkształcenia właściwe momentom i siłom panującym w układzie rzeczywistym, to otrzymane przez przecięcie korespondujące przekroje nie doznają żadnych wzajemnych przemieszczeń. Innymi słowy $\delta_{x1p} = \delta_{x2p} = \delta_{x3p} = \delta_{x4p} = \delta_{x5p} = \delta_{x6p} = 0$. Chcąc na przykład sprawdzić wartość δ_{x4p}, wyznaczamy momenty zginające i skręcające wywołane w przeciętym ciągu przez dwójkę sił $X_4 = 1$, po czym całkujemy zgodnie z równaniem pracy (5) iloczyny tych momentów oraz momentów rzeczywistych. Suma całek obliczonych dla poszczególnych prętów musi być w rozpatrywanym ciągu równa zeru. Dla ustroju przedstawionego na rysunku 10 przeprowadzono kontrolę w odniesieniu do przemieszczeń δ_{vp} i δ_{mp} (rys. 14).

Zakończenie

Praca niniejsza poświęcona jest omówieniu zagadnienia statyki przestrzennych ustrojów prętowych w układzie Clapeyrona. Rozwiązanie tych ustrojów przeprowadzono przy zastosowaniu pojedynczych biegunów sprężystych. Nazwa ta przy obliczaniu ram przestrzennych może budzić pewne zastrzeżenia z uwagi na to, że występujący tu biegun pojedynczy ma formę szczątkową i mało podobną do swego prototypu klasycznego bieguna złożonego. Zastrzeżenia te mogłyby się zdawać tym słuszniejsze, że w teorii badań modelowych korzysta się również z łożysk wyzwalających jedną niewiadomą, nie określając ich jednak mianem bieguna sprężystego. Pomimo to nazwa biegunów sprężystych została tu nadal utrzymana. Upoważnia do tego fakt, że biegun pojedynczy stanowi naturalną i logicznie uzasadnioną formę ewolucyjną bieguna złożonego oraz to, że sformułowana dla biegunów złożonych metoda zasadniczo niczym się nie różni od metody podanej dla biegunów pojedynczych. Podkreślić należy przy tym, że sposób obliczenia przedstawiony dla prętowych układów przestrzennych znajduje w pełnym swoim brzmieniu również zastosowanie przy rozwiązywaniu układów płaskich. Układy płaskie bowiem stanowią szczególny przypadek układów przestrzennych. Za pomocą biegunów pojedynczych można więc rozwiązać w sposób wyżej przedstawiony każdy statycznie niewyznaczalny układ prętowy typu Clapeyrona.

Charakteryzując przedstawiony sposób obliczenia ram przestrzennych możnaby podkreślić następujące jego zalety:

1) wszechstronność zastosowania oraz całkowite zmechanizowanie pracy przy rozwiązywaniu dowolnych ustrojów prętowych spotykanych w praktyce inżynierskiej, bez względu na ich kształt, charakter, stopień statycznej niewyznaczalności i rodzaj obciążenia. Wynika to z walorów metody sił, na której opiera się metoda biegunów sprężystych;

2) możliwość bezpośredniego obliczenia wielkości hiperstatycznych i co za tym idzie zwolnienie z obowiązku tworzenia i rozwiązywania układów równań;

3) duże ułatwienia przy rozwiązywaniu ustrojów poddanych działaniu większej ilości schematów obciążeń. Uzyskuje się je dzięki wyraźnemu podziałowi obliczenia na dwie części, a to na badanie sprężystości ustroju oraz badanie wpływu obciążeń. Wykorzystuje się mianowicie przy rozwiązywaniu ustroju obciążonego nowym układem sił wyniki przeprowadzonego już poprzednio badania sprężystości. Czas potrzebny do rozwiązania ustroju obciążonego nowym schematem sił stanowi około 30% czasu potrzebnego przy pierwszym obliczeniu.

P r z y k ł a d 1. Obliczenie ramy przestrzennej w układzie przedstawionym na rys. 9.

Momenty bezwładności

$$J_{\mathrm{I}} = J_{\mathrm{II}} = \frac{0{,}3 \cdot 0{,}6^3}{12} = 0{,}0054 \ \mathrm{m}^4 \ldots (1{,}000)$$

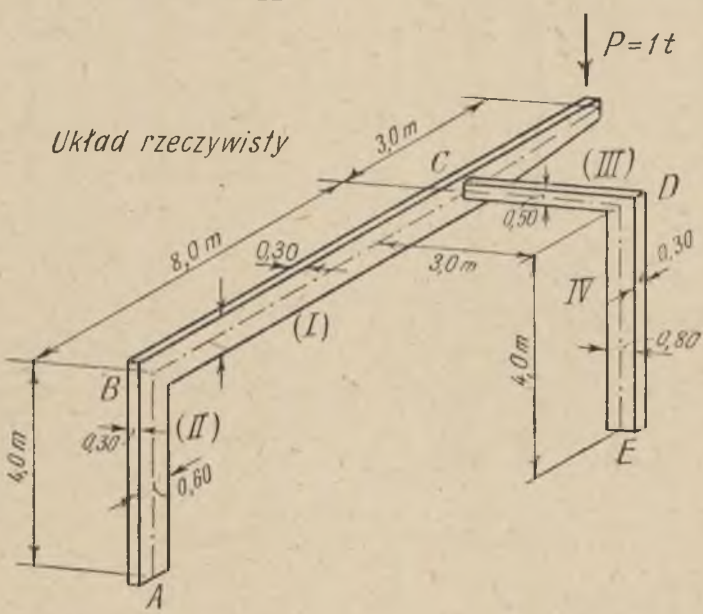
$$J_{\mathrm{III}} = \frac{0{,}3 \cdot 0{,}5^3}{12} = 0{,}003125 \ \mathrm{m}^4 \ldots (0{,}579)$$

$$J_{\mathrm{IV}} = \frac{0{,}3 \cdot 0{,}8^3}{12} = 0{,}0128 \ \mathrm{m}^4 \ldots (2{,}370)$$

$$J'_{\mathrm{I}} = J'_{\mathrm{II}} = \frac{0{,}6 \cdot 0{,}3^3}{12} = 0{,}00135 \ \mathrm{m}^4 \ldots (0{,}250)$$

$$J'_{\mathrm{III}} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}3^3}{12} = 0{,}001125 \ \mathrm{m}^4 \ldots (0{,}2083)$$

$$J'_{\mathrm{IV}} = \frac{1{,}8 \cdot 0{,}3^3}{12} = 0{,}0018 \ \mathrm{m}^4 \ldots (0{,}333)$$



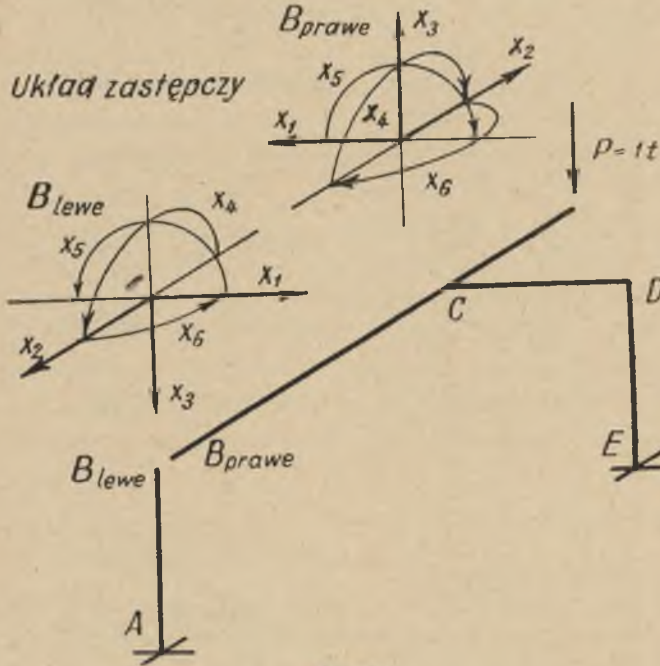
Rys. 9

Wartość C (równ. 6)

$$C_{\mathrm{I}} = C_{\mathrm{II}} = 0{,}764\left(1 + \frac{0{,}6^2}{0{,}3^2}\right) = 3{,}820, \qquad C_{\mathrm{III}} = 0{,}764\left(1 + \frac{0{,}5^2}{0{,}3^2}\right) = 2{,}886$$

$$C_{IV} = 0{,}764\left(1 + \frac{0{,}8^2}{0{,}3^2}\right) = 6{,}197$$

Kolejność sprzęgania łożysk: X_1 do X_6 (rys. 10)



Rys. 10

I. Cechy sprężyste

$$(X_1)\ \delta_{x_1x_1} = \frac{4{,}0 \cdot 4{,}0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 4{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}250} + \frac{8{,}0 \cdot 8{,}0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{8{,}0}{0{,}250} +$$

$$+ 8{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot 8{,}0 \frac{1}{0{,}2083} + \frac{4{,}0 \cdot 4{,}0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4{,}0}{2{,}37} +$$

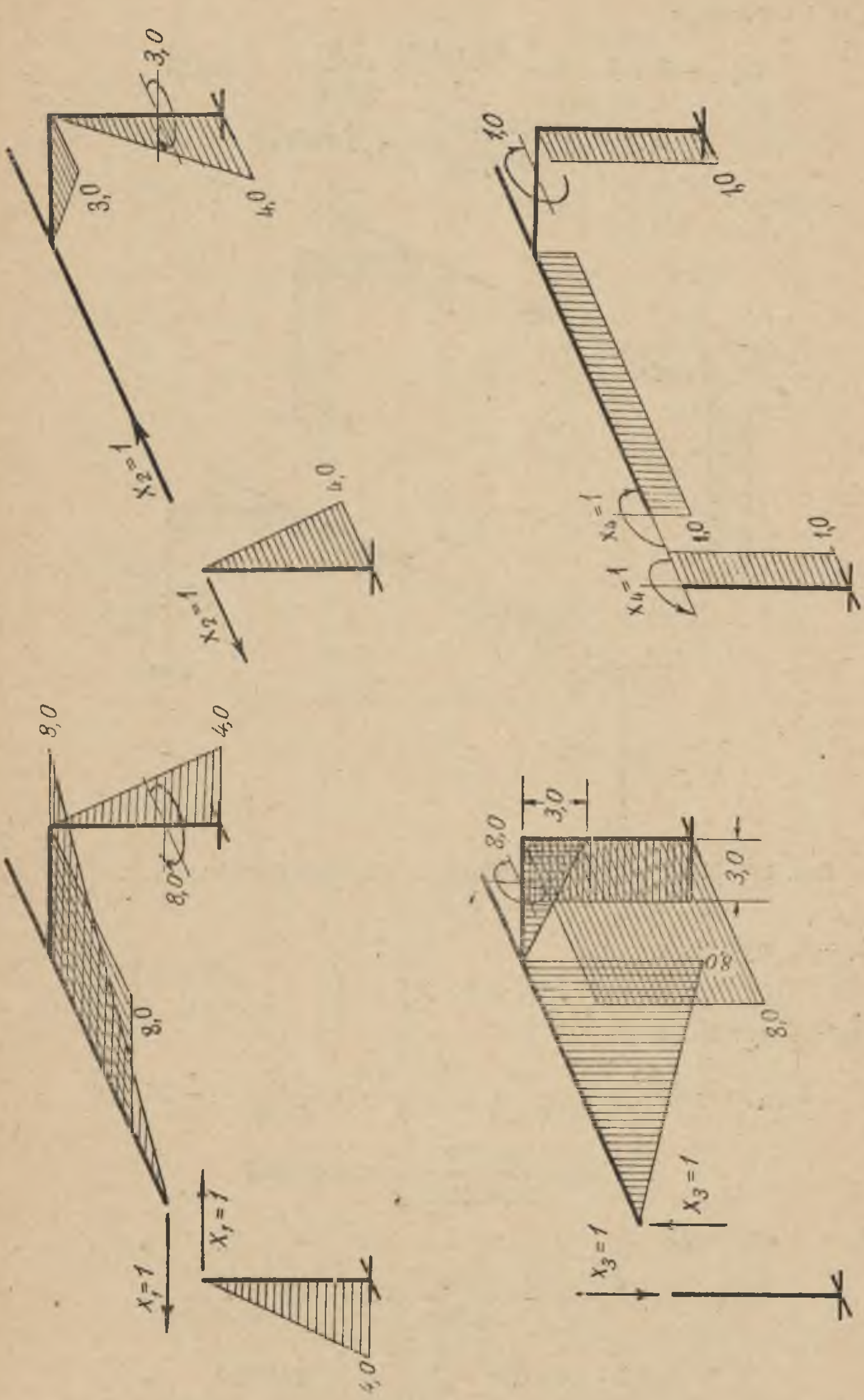
$$+ 8{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 8{,}0 \cdot \frac{6{,}197}{2{,}37} = 2368{,}127$$

$X_2 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_2x_1} = 0 + 0 + \frac{3{,}0 \cdot 3{,}0}{2} \cdot 8{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}2083} + 0 +$$

$$+ 8{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{6{,}197}{2{,}370} = + 423{,}839$$

$$X_1^{x_2} = - \frac{423{,}839}{2368{,}127} = - 0{,}1790$$

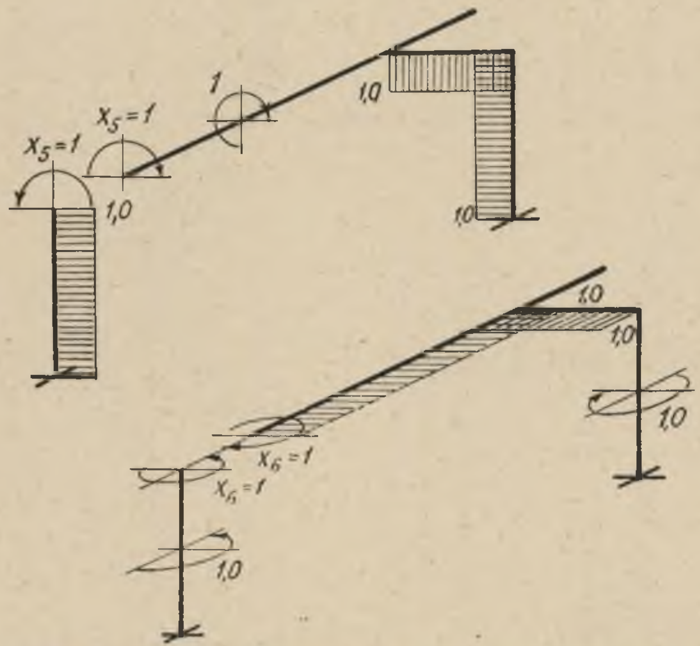


Rys. 11a. Momenty od jednostkowych sił biegunowych $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 1$

$X_3 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_3x_1} = 0 + 0 + 0 - \frac{4{,}0 \cdot 4{,}0}{2} \cdot \frac{3{,}0}{2{,}370} = -10{,}127$$

$$X_1^{x_3} = +\frac{10{,}127}{2368{,}127} = +0.004276$$



Rys. 11b. Momenty od jednostkowych sił biegunowych $x_5 = x_6 = 1$

$X_4 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_4x_1} = 0 \quad X_1^{x_4} = 0$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_5x_1} = -\frac{4{,}0 \cdot 4{,}0}{2} \cdot \frac{1{,}0}{0{,}25} - \frac{4{,}0 \cdot 4{,}0}{2} \cdot \frac{1{,}0}{2{,}370} = -35{,}376$$

$$X_1^{x_5} = +\frac{35{,}376}{2368{,}127} = +0{,}014938$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_6x_1} = 0 + \frac{8{,}0 \cdot 8{,}0}{2} \cdot \frac{1{,}0}{0{,}250} + 8{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1{,}0}{0{,}2083} +$$

$$+ 8{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{6{,}197}{2{,}370} = +326{,}888$$

$$X_1^{x_6} = -\frac{326,888}{2368,127} = -0,1380$$

$$(X_2)\ \delta^0_{x_2x_2} = \frac{4,0 \cdot 4,0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4,0}{1,0} + 0 + \frac{3,0 \cdot 3,0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{3,0}{0,2083} +$$

$$+ \frac{4,0 \cdot 4,0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4,0}{0,333} + 3,0 \cdot 4,0 \cdot 3,0 \cdot \frac{6,197}{2,370} = 222,669$$

$$\delta_{x_2x_2} = 222,669 - 0,1790 \cdot 423,839 = 146,802$$

$X_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_3x_2} = 0 + 0 + 0 + \frac{4,0 \cdot 4,0}{2} \cdot \frac{8,0}{0,333} = 192,0$$

$$\delta_{x_3x_2} = 192,0 - 0,1790 \cdot 10,127 = +193,813$$

$$X_2^{x_3} = -\frac{193,813}{146,802} = -1,320$$

$X_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_4x_2} = \frac{4,0 \cdot 4,0}{2} \cdot \frac{1,0}{1,0} + 0 + 0 + \frac{4,0 \cdot 4,0}{2} \cdot \frac{1,0}{0,333} = 32,0$$

$$\delta_{x_4x_2} = 32,0 - 0,1790 \cdot 0 = +32,0$$

$$X_2^{x_4} = -\frac{32,0}{146,802} = -0,2180$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_5x_2} = 0 \qquad \delta_{x_5x_2} = 0 - 0,1790 \cdot 35,376 = 6,332$$

$$X_2^{x_5} = -\frac{6,332}{146,802} = -0,04313$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_6x_2} = 0 + 0 + \frac{3,0 \cdot 3,0}{2} \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{0,2083} + 3,0 \cdot 4.0 \cdot 1,0 \cdot \frac{6,197}{2,370} = +52,979$$

$$\delta_{x_6x_2} = +52,979 - 0,1790 \cdot 326,888 = -5,534$$

$$X_2^{x_6} = +\frac{5,534}{146,802} = +0,0377$$

$$(X_3)\ \delta^0_{x_3x_3} = 0 + \frac{8,0 \cdot 8,0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{8,0}{1,0} + \frac{3,0 \cdot 3,0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{3,0}{0,579} +$$

$$+ 8,0 \cdot 3,0 \cdot 8,0 \cdot \frac{2,886}{0,579} + 3,0 \cdot 4,0 \cdot \frac{3,0}{2,370} + 8,0 \cdot 4,0 \cdot \frac{8,0}{0,333} = 1926,417$$

$$\delta_{x_3x_3} = 1926,417 - 0,004276 \cdot 10,127 - 1,320{,}193,813 = 1670,541$$

$X_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_4x_3} = 0 + \frac{8{,}0 \cdot 8{,}0}{2} \cdot \frac{1{,}0}{1{,}0} + 8{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{2{,}886}{0{,}579} + $$

$$+ 8{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot \frac{1{,}0}{0{,}333} = + 247{,}627$$

$$\delta_{x_4x_3} = + 247{,}627 - 0 + \overset{-}{1{,}320} \cdot \overset{-}{32{,}0} = + 205{,}387$$

$$X_3^{x_4} = - \frac{205{,}387}{1670{,}541} = - 0{,}12295$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_5x_3} = 0 + 0 + \frac{3{,}0 \cdot 3{,}0}{2} \cdot \frac{1{,}0}{0{,}579} + 3{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{1}{2{,}370} = 12{,}835$$

$$\delta_{x_5x_3} = + 12{,}835 - \overset{+}{0{,}004276} \cdot \overset{+}{35{,}376} - \overset{-}{1{,}320} \cdot \overset{-}{6{,}332} = + 4{,}3255$$

$$X_3^{x_5} = - \frac{4{,}3255}{1670{,}541} = - 0{,}002589$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_6x_3} = 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

$$\delta_{x_6x_3} = 0 - \overset{+}{0{,}004276} \cdot \overset{-}{326{,}888} - \overset{-}{1{,}320} \cdot \overset{+}{5{,}534} = + 8{,}703$$

$$X_3^{x_6} = - \frac{8{,}703}{1670{,}541} = - 0{,}005210$$

$$(X_4) \quad \delta^0_{x_4x_4} = 1{,}0 \cdot 4{,}0 . \frac{1{,}0}{1{,}0} + 1{,}0 \cdot 8{,}0 \cdot \frac{1{,}0}{1{,}0} + 1{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{2{,}886}{0{,}579} +$$

$$+ 1{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}333} = 38{,}953$$

$$\delta_{x_4x_4} = 38{,}953 - 0 - 0{,}2180 \cdot 32{,}0 - 0{,}12295 \cdot 205{,}387 = 6{,}725$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_5x_4} = 0$$

$$\delta_{x_5x_4} = 0 - 0 - \overset{-}{0{,}2180} \cdot \overset{-}{6{,}332} - \overset{-}{0{,}12295} \cdot \overset{-}{4{,}3255} = - 1{,}9122$$

$$X_4^{x_5} = + \frac{1{,}9122}{6{,}725} = + 0{,}2843$$

$X_6 = 0$ wywołuje

$$\delta^0_{x_6x_4} = 0$$

$$\delta_{x_6x_4} = 0 - 0 - \overset{-}{0{,}2180} \cdot \overset{+}{5{,}534} - \overset{-}{0{,}12295} \cdot \overset{-}{8{,}703} = + 0{,}1364$$

$$X_4^{x_6} = - \frac{0{,}1364}{6{,}725} = - 0{,}02028$$

$$(X_5)\quad \delta^0{}_{x_5x_5} = 1{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}250} + 1{,}0 \cdot 8{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{3{,}820}{1{,}0} +$$

$$+ 1{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1{,}0}{0{,}579} + 1{,}0 \cdot 4{,}0 \frac{1{,}0}{2{,}370} = 53{,}429$$

$$\delta_{x_5x_5} = 53{,}429 - 0{,}014938 \cdot 35{,}376 - 0{,}04313 \cdot 6{,}332 - 0{,}002589 \cdot 4{,}3255 -$$
$$- 0{,}2843 \cdot 1{,}9122 = 52{,}073$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{x_6x_5} = 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

$$\delta_{x_6x_5} = 0 - \overset{+}{0{,}014938} \cdot \overset{-}{326{,}888} - \overset{-}{0{,}04313} \cdot \overset{+}{5{,}534} - \overset{-}{0{,}002589} \cdot \overset{-}{8{,}703} -$$

$$- \overset{+}{0{,}2843} \cdot \overset{-}{0{,}1364} = + 5{,}1381$$

$$X_5^{x_6} = - \frac{5{,}1381}{52{,}073} = - 0{,}09867$$

$$(X)\quad \delta^0{}_{x_6x_6} = 1{,}0 \cdot 4.0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{3{,}820}{1{,}0} + 1{,}0 \cdot 8{,}0 \cdot \frac{1{,}0}{0{,}250} + 1{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1{,}0}{0{,}2083} +$$

$$+ 1{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \frac{6{,}197}{2{,}370} = 72{,}141$$

$$\delta_{x_6x_6} = 72{,}141 - 0{,}138 \cdot 326{,}888 - 0{,}0377 \cdot 5{,}534 - 0{,}00521 \cdot 8{,}703 -$$
$$- 0{,}02028 \cdot 0{,}1364 - 0{,}09867 \cdot 5{,}1381 = 26{,}267$$

II. Etatowe siły biegunowe

$$(\overline{X}_1)\quad \delta_{x_1p} = 0 + \frac{4{,}0 \cdot 4{,}0}{2} \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1}{2{,}370} = + 10{,}126$$

$$\overline{X}_1 = - \frac{10{,}126}{2368{,}127} = - 0{,}004276$$

$$(\overline{X}_2)\quad \delta^0{}_{x_2p} = 0 + 0 + 0 + \frac{4{,}0 \cdot 4{,}0}{2} \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}333} = 72{,}0$$

$$\delta_{x_2p} = + 72{,}0 - \overset{-}{004276} \cdot \overset{-}{423{,}889} = + 70{,}188$$

$$\overline{X}_2 = - \frac{70{,}188}{146{,}802} = - 0{,}4781$$

$$(\overline{X}_3)\quad \delta^0{}_{x_3p} = 0 + 0 - \frac{3{,}0 \cdot 3{,}0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{3{,}0}{0{,}579} + 8{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{2{,}886}{0{,}579} +$$

$$+ 8{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}333} - 3{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1}{2{,}370} = 616{,}154$$

$$\delta_{x_3p} = + 616{,}154 - \overset{-}{0{,}00427} \cdot \overset{+}{10{,}127} - \overset{-}{0{,}4781} \cdot \overset{-}{193{,}813} = 523{,}535$$

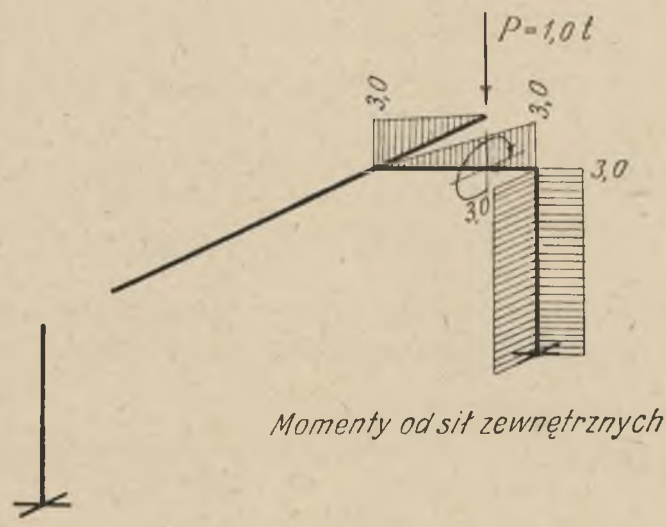
$$\overline{X}_3 = -\frac{523{,}535}{1670{,}541} = -0{,}3124$$

$$(\overline{X}_4)\quad \delta^0{}_{x4p} = 0 + 0 + 1{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{2{,}886}{0{,}579} + 1{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}333} = +80{,}860$$

$$\delta_{x4p} = +80{,}860 - 0{,}004276 \cdot 0 - 0{,}4781 \cdot 32{,}0 - 0{,}3134 \cdot 205{,}387 = +1{,}193$$

$$\overline{X}_4 = -\frac{1{,}193}{6{,}725} = -0{,}1774$$

$$(\overline{X}_5)\quad \delta^0{}_{x5p} = 0 + 0 - 1{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{3{,}0}{2} \cdot \frac{1}{0{,}579} - 1{,}0 \cdot 4{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1}{2{,}376} = -12{,}835$$



Rys. 12

$$\delta_{x5p} = -12{,}835 - 0{,}004276 \cdot 35{,}376 - 0{,}4781 \cdot 6{,}332 -$$

$$- 0{,}3134 \cdot 4{,}3255 - 0{,}1774 \cdot 1{,}9122 = -16{,}728$$

$$\overline{X}_5 = +\frac{16{,}728}{52{,}073} = +0{,}3212$$

$$(\overline{X}_6)\quad \delta^0{}_{x6p} = 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

$$\delta_{x6p} = 0 - 0{,}004276 \cdot 326{,}888 - 0{,}4781 \cdot 5{,}534 - 0{,}3134 \cdot 8{,}703 -$$

$$- 0{,}1774 \cdot 0{,}1364 - 0{,}3212 \cdot 5{,}1381 = +0{,}147$$

$$\overline{X}_6 = -\frac{0{,}147}{26{,}267} = -0{,}005596$$

III. Rzeczywiste siły biegunowe

$X_6 = -0{,}005596 \text{ tm}$

$X_5 = +0{,}3212 + \overset{-}{0{,}005596} \cdot \overset{-}{0{,}09867} = +0{,}3217 \text{ tm}$

$X_4 = -0{,}1774 + \overset{-}{0{,}005596} \cdot \overset{-}{0{,}02028} + \overset{+}{0{,}3217} \cdot \overset{+}{0{,}2843} = -0{,}0859 \text{ tm}$

$X_3 = -0{,}3134 + \overset{-}{0{,}005596} \cdot \overset{-}{0{,}00521} + \overset{+}{0{,}3217} \cdot \overset{-}{0{,}002589} + \overset{-}{0{,}0859} \cdot$

$\cdot \overset{-}{0{,}12295} = -0{,}3037 \text{ t}$

$X_2 = -0{,}4781 + \overset{-}{0{,}005596} \cdot \overset{+}{0{,}03770} + \overset{+}{0{,}3217} \cdot \overset{-}{0{,}04313} + \overset{-}{0{,}0859} \cdot \overset{-}{0{,}2180} +$

$+ \overset{-}{0{,}3037} \cdot \overset{-}{1{,}320} = -0{,}07257 \text{ t}$

$X_1 = -0{,}004276 + \overset{-}{0{,}005596} \cdot \overset{-}{0{,}1380} + \overset{+}{0{,}3217} \cdot \overset{+}{0{,}014938} + 0 +$

$+ \overset{-}{0{,}3037} \cdot \overset{+}{0{,}004276} + \overset{-}{0{,}07257} \cdot \overset{-}{0{,}1790} = +0{,}013 \text{ t}$

IV. Momenty ustrojowe (rys. 13)

$\overset{(2)}{M}_A = +\overset{-}{0{,}07257} \cdot \overset{+}{4{,}0} + \overset{-}{0{,}0859} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -0{,}3762 \text{ tm}$

$\overset{(1)}{M}_A = \overset{+}{0{,}013} \cdot \overset{-}{4{,}0} + \overset{+}{0{,}3217} \cdot \overset{+}{1{,}0} = +0{,}2697 \text{ tm}$

$\overset{(2)}{M}_{BA} = \overset{-}{0{,}0859} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -0{,}0859 \text{ tm}$

$\overset{(1)}{M}_{BA} = 0{,}3217 \cdot \overset{+}{1{,}0} = +0{,}3217 \text{ tm}$

$\overset{(3)}{M}_{AB} = +\overset{-}{0{,}0056} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -0{,}0056 \text{ tm}$

$\overset{(2)}{M}_{BC} = -0{,}0859 \cdot \overset{+}{1{,}0} = -0{,}0859 \text{ tm} \quad \overset{(3)}{M}_{BC} = -0{,}005596 \cdot \overset{+}{1{,}0} =$

$= -0{,}005596 \text{ tm}$

$\overset{(2)}{M}_{CB} = \overset{-}{0{,}3037} \cdot \overset{+}{8{,}0} + \overset{-}{0{,}0859} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -2{,}5155 \text{ tm}$

$\overset{(3)}{M}_{CB} = \overset{+}{0{,}013} \cdot \overset{+}{8{,}0} + \overset{+}{0{,}005596} \cdot \overset{-}{1{,}0} = +0{,}0984 \text{ tm}$

$\overset{(1)}{M}_{BC} = +0{,}3217 \cdot 1{,}0 = +0{,}3217 \text{ tm}$

$\overset{(1)}{M}_{CD} = +\overset{+}{0{,}3217} \cdot 1{,}0 = +0{,}3217 \text{ tm}$

$\overset{(3)}{M}_{CD} = +0{,}0984 \text{ tm}$

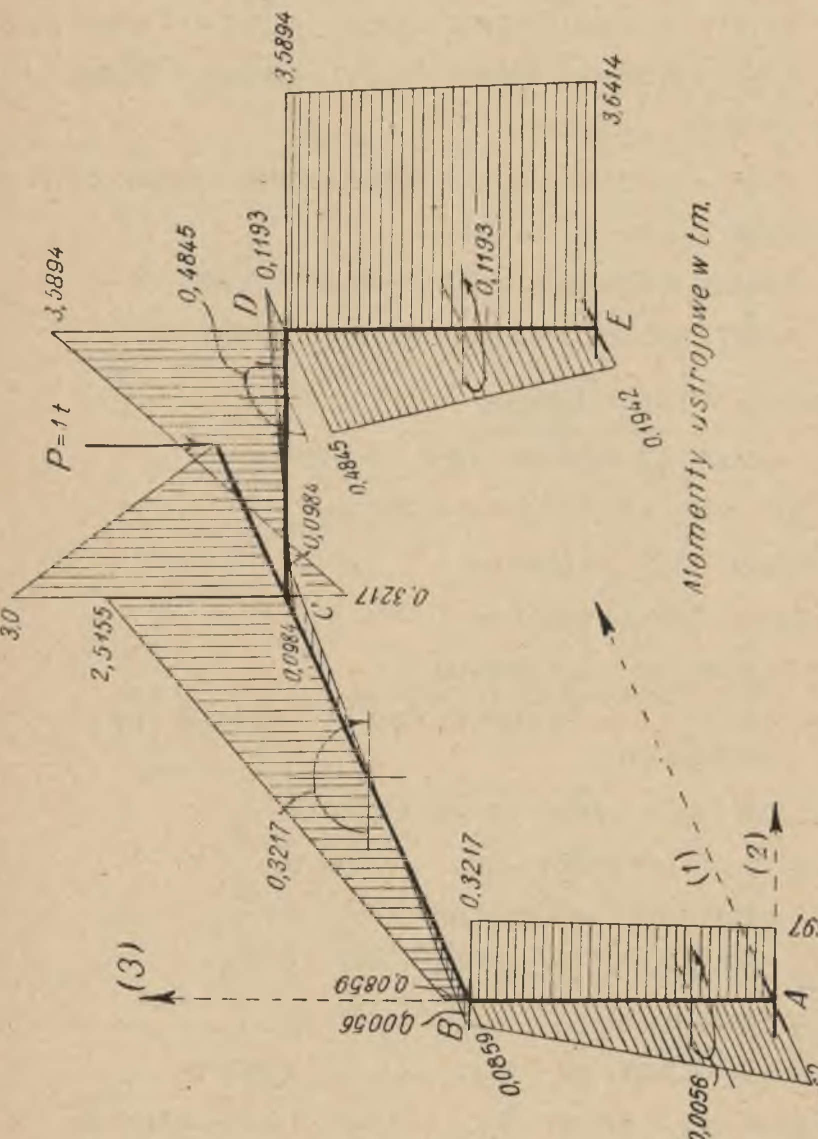
$\overset{(1)}{M}_{DC} = -3{,}0 + \overset{-}{0{,}3037} \cdot \overset{+}{3{,}0} + \overset{+}{0{,}3217} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -3{,}5894 \text{ tm}$

$\overset{(3)}{M}_{DC} = \overset{+}{0{,}013} \cdot \overset{+}{8{,}0} + \overset{-}{0{,}07257} \cdot \overset{+}{3{,}0} + \overset{-}{0{,}005596} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -0{,}1193 \text{ tm}$

$\overset{(2)}{M}_{CD} = \overset{+}{3{,}0} + \overset{-}{0{,}3037} \cdot \overset{+}{8{,}0} + \overset{-}{0{,}0859} \cdot \overset{+}{1{,}0} = +0{,}4845 \text{ tm}$

$\overset{(1)}{M}_{DE} = -3{,}0 + \overset{-}{0{,}3037} \cdot \overset{+}{3{,}0} + \overset{+}{0{,}3217} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -3{,}5894 \text{ tm}$

$\overset{(2)}{M}_{DE} = +0{,}4845 \text{ tm}$



P = 1 t
Momenty ustrojowe w tm.
3,5894
3,5894
3,6414
0,4845
0,1193
0,1193
0,1942
0,4845
0,0984
0,3217
3,0
2,5155
0,0984
0,3217
0,3217
0,0859
0,0056
0,0859
0,0056
0,3762
0,2697
(1)
(2)
(3)
A
B
C
D
E

Rys. 13

$$\overset{(1)}{M}_{ED} = -3{,}0 + \overset{+}{0{,}013} \cdot \overset{-}{4{,}0} + \overset{-}{0{,}3037} \cdot \overset{+}{3{,}0} + \overset{+}{0{,}3217} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -3{,}6414 \text{ tm}$$

$$\overset{(2)}{M}_{ED} = +3{,}0 + \overset{-}{0{,}07257} \cdot \overset{+}{4{,}0} + \overset{-}{0{,}3037} \cdot \overset{+}{8{,}0} + \overset{-}{0{,}0859} \cdot \overset{+}{1{,}0} = +0{,}1942 \text{ tm}$$

$$\overset{(3)}{M}_{ED} = 0{,}013 \cdot \overset{+}{8{,}0} + \overset{-}{0{,}07257} \cdot \overset{+}{3{,}0} + \overset{-}{0{,}005596} \cdot \overset{+}{1{,}0} = -0{,}1193 \text{ tm}$$

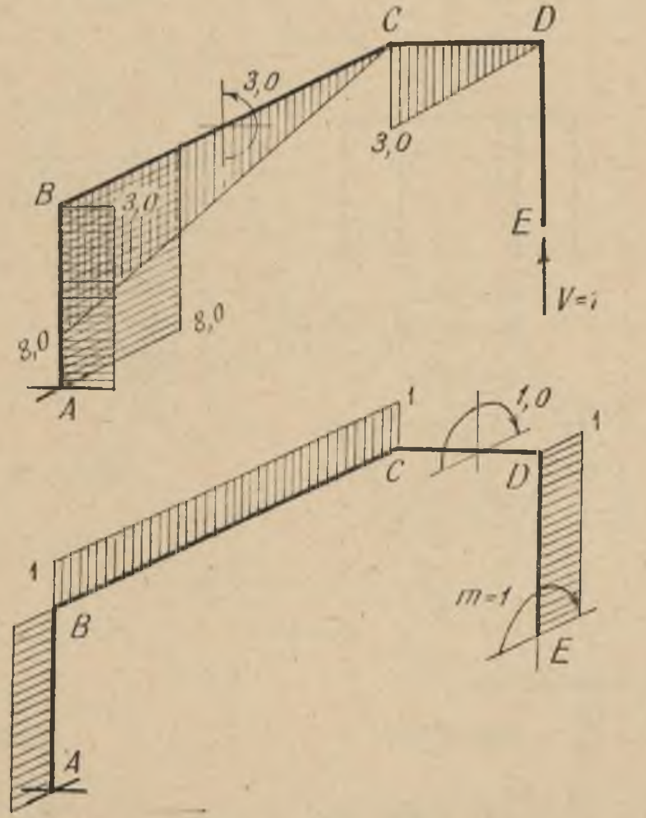
Kontrola wyników (rys. 14)

$$\delta_{vp} = -\frac{0{,}3762 + 0{,}0859}{2} \cdot 4{,}0 \cdot 8{,}0 \frac{1}{1{,}0} + \frac{0{,}2697 + 0{,}3217}{2} \cdot 4{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}250} +$$

$$-\frac{0{,}0859 \cdot 8{,}0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 8{,}0 \cdot \frac{1}{1{,}0} - \frac{2{,}5155 \cdot 8{,}0}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot 8{,}0 \cdot \frac{1}{1{,}0} +$$

$$+ 0{,}3217 \cdot 8{,}0 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{3{,}820}{1{,}00} + \frac{0{,}3217 \cdot 3{,}0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3{,}0 \cdot \frac{1}{0{,}579} -$$

$$-\frac{3{,}5894 \cdot 3{,}0}{2} \frac{3{,}0}{3} \cdot \frac{1}{0{,}579} = -45{,}356 + 45{,}3538 \cong 0$$



Momenty od jednostkowych sił podporowych

Rys. 14

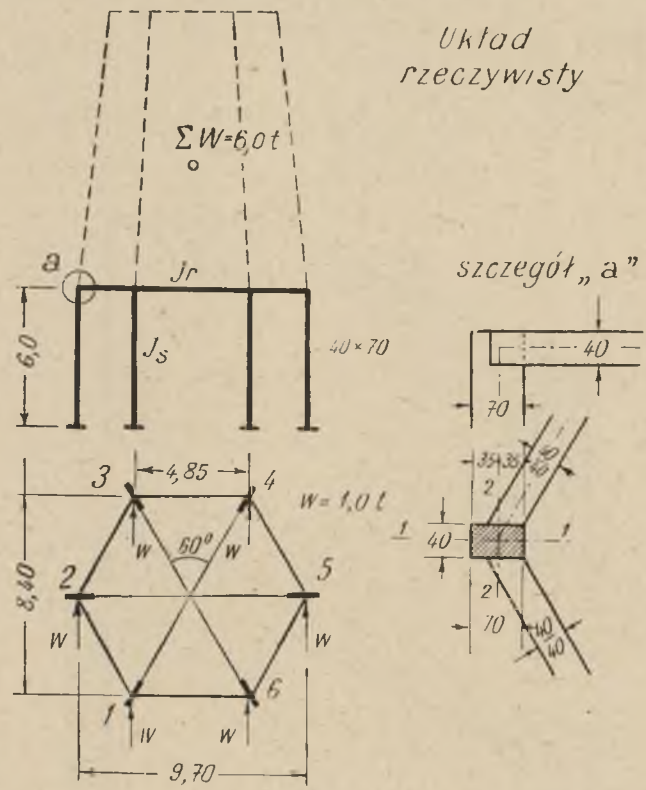
$$\delta_{mp} = + \frac{0,3762 + 0,0859}{2} \cdot 4,0 \cdot \frac{1,0}{1,0} + \frac{0,0859 + 2,5155}{2} \cdot 8,0 \cdot \frac{1,0}{1,0} -$$

$$- 0,4845 \cdot 3,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,886}{0,579} - \frac{0,1942 + 0,4845}{2} \cdot 4,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{0,333} =$$

$$= + 11,3298 - 11,3171 \cong 0$$

W analogiczny sposób można przeprowadzić kontrolę czterech pozostałych warunków podporowych.

P r z y k ł a d 2. Obliczanie podstawy chłodni kominowej jako ramy przestrzennej w układzie przedstawionym na rys. 15.



Rys. 15

Momenty bezwładności

$$J_r = \frac{40^4}{12} = 213333 \text{ cm}^4 \quad \dots\dots\dots\dots \quad (0,186)$$

$$\overset{(1)}{J_s} = \frac{70 \cdot 40^3}{12} = 373333 \text{ cm}^4 \quad \dots\dots\dots \quad (0,326)$$

$$\overset{(2)}{J_s} = \frac{40 \cdot 70^3}{12} = 1143333 \text{ cm}^4 \quad \dots\dots\dots \quad (1,0)$$

Z równania (6) obliczamy:

$$C_{\text{słupa}} = 0{,}764\left(1 + \frac{70^2}{40^2}\right) = 3{,}1 \qquad C_{\text{rozp.}} = 0{,}764\left(1 + \frac{40^2}{40^2}\right) = 1{,}528$$

Kolejność sprzęgania łożysk X_{1-6}, W_{1-6}, Y_{1-6}, Z_{1-6} (rys. 16).

I. Cechy sprężyste

$$(X_1)\ \delta_{x_1x_1} = 2\cdot\left(\frac{2{,}425^3}{3\cdot 0{,}186} + \frac{5{,}196\cdot 6{,}0}{2\cdot 1{,}0}\cdot\frac{2}{3}\cdot 5{,}196 + \frac{3{,}0\cdot 6{,}0}{2\cdot 0{,}326}\cdot\frac{2}{3}\cdot 3{,}0 + \right.$$

$$\left. + \frac{2{,}425^2\cdot 6{,}0\cdot 3{,}1}{1{,}0}\right) = 488{,}294$$

$X_2 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_2x_1} = 0 \qquad X_1^{x_2} = 0$$

$X_3 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_3x_1} = \left(\frac{2{,}102\cdot 6{,}0}{0{,}326}\cdot\frac{3{,}0}{2} - \frac{1{,}212\cdot 6{,}0}{1{,}0}\cdot\frac{5{,}196}{2}\right)\cdot 2 = 78{,}274$$

$$X_1^{x_3} = -\frac{78{,}274}{488{,}294} = -0{,}1603$$

$X_4 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_4x_1} = 0 \qquad X_1^{x_4} = 0$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_5x_1} = 2\cdot\left(\frac{0{,}5\cdot 6{,}0}{0{,}326}\cdot\frac{3{,}0}{2} - \frac{0{,}866\cdot 6{,}0}{1{,}0}\cdot\frac{5{,}196}{2}\right) = 54{,}606$$

$$X_1^{x_5} = -\frac{54{,}606}{488{,}294} = -0{,}1118$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_6x_1} = 0 \qquad X_1^{x_6} = 0$$

$Y_1 = 1$ wywołuje

$$\delta_{y_1x_1} = 0 \qquad X_1^{y_1} = 0$$

$Y_2 = 1$ wywołuje

$$\delta_{y_2x_1} = 0 \qquad X_1^{y_2} = 0$$

$Y_3 = 1$ wywołuje

$$\delta_{y_3x_1} = 0 \qquad X_1^{y_3} = 0$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

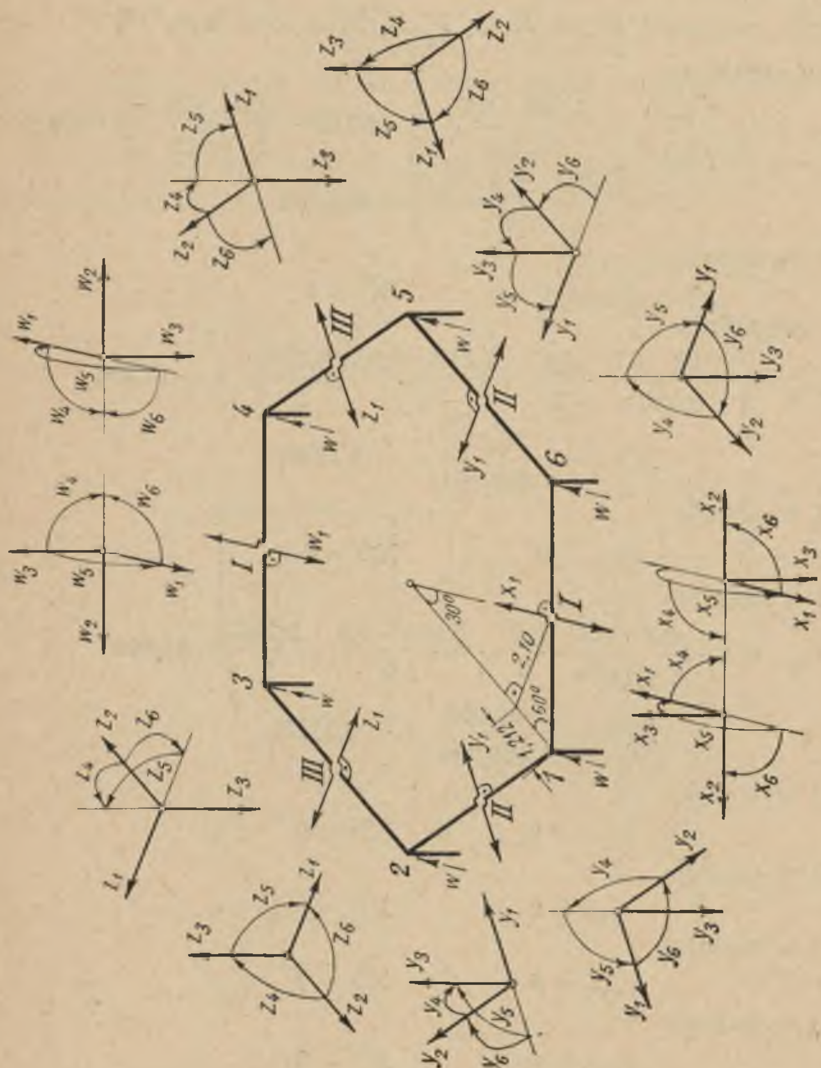
$$\delta_{y_4x_1} = 0 \qquad X_1^{y_4} = 0$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta_{y_5x_1} = 0 \qquad X_1^{y_5} = 0$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta_{y_6x_1} = 0 \qquad X_1^{y_6} = 0$$



Układ zastępczy

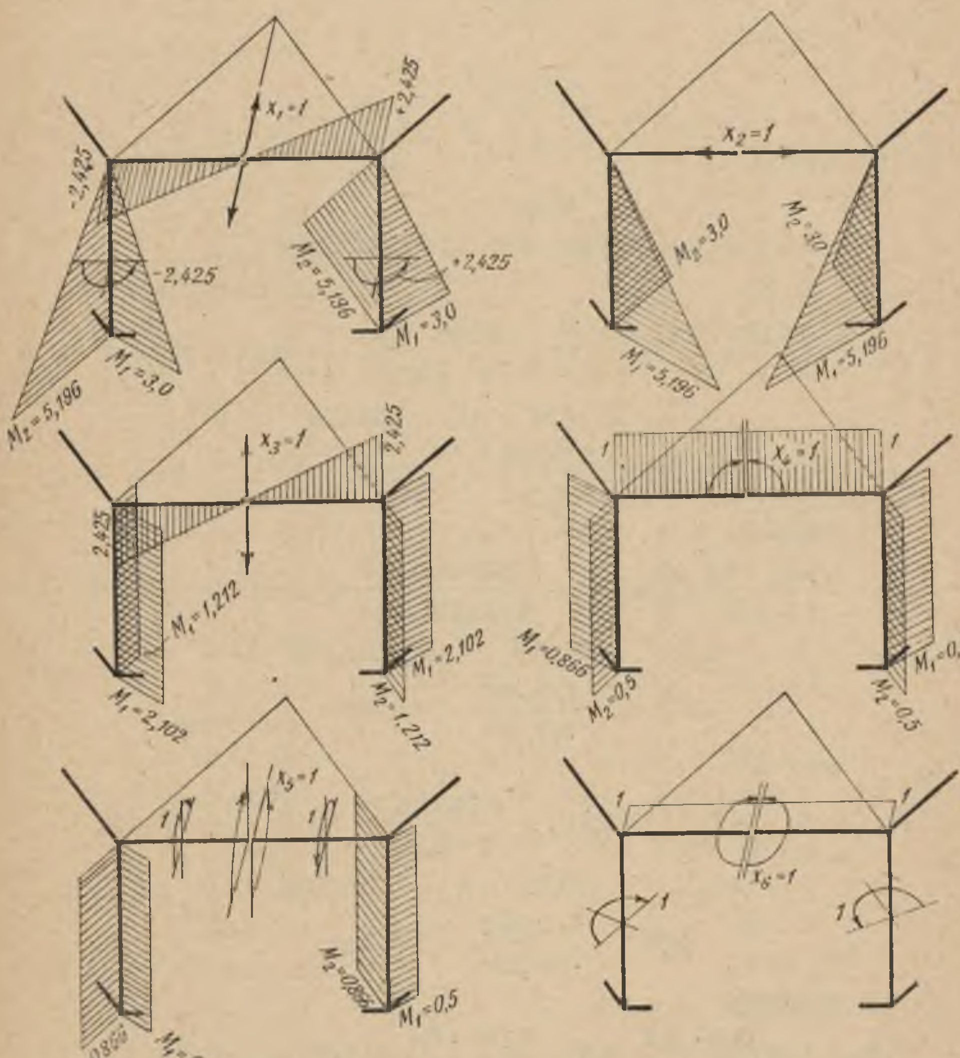
Rys. 16

$$(X_2)\quad \delta^0_{x_2x_2} = 2 \cdot \left(\frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot \frac{2}{3} \cdot 5{,}196 + \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 1{,}0} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3{,}0\right) = 367{,}288$$

$$\delta_{x_2x_2} = 367{,}288 - 0 = 367{,}288$$

$X_3 = 1$ wywołuje

$$\delta_{x_2x_3} = 0 \qquad\qquad X_2^{x_3} = 0$$



Momenty od jednostkowych sił biegunowych
x_{1-6} (analog. od sił Y_{1-6}, Z_{1-6}, W...)

Rys. 17

$X_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_4x_2} = 2 \cdot \left(\frac{-5,196 \cdot 6,0}{2 \cdot 0,326} \cdot 0,866 - \frac{3,0 \cdot 6,0}{2 \cdot 1,0} \cdot 0,5 \right) = -91,822$$

$$\delta_{x_4x_2} = -91,822 - 0 = -91,822$$

$$X_2^{x_4} = + \frac{91,822}{367,288} = +0,25$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_5x_2} = 0$$

$$\delta_{x_5x_2} = 0 - 0 = 0 \qquad X_2^{x_5} = 0$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{x_6x_2} = 0$$

$$\delta_{x_6x_2} = 0 - 0 = 0 \qquad X_2^{x_6} = 0$$

$Y_1 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_1x_2} = 2 \left(\frac{5,196 \cdot 6,0}{2 \cdot 1,0} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 + \frac{5,196 \cdot 6,0}{2 \cdot 0,326} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 \right) = 253,614$$

$$\delta_{y_1x_2} = 253,614 - 0 = +253,614$$

$$X_2^{y_1} = \frac{253,614}{367,288} = -0,6905$$

$Y_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_2x_2} = 2 \left(\frac{3,0 \cdot 6,0}{2 \cdot 1,0} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 - \frac{5,196 \cdot 6,0}{2 \cdot 0,326} \cdot \frac{2}{3} \cdot 5,196 \right) = -295,268$$

$$\delta_{y_2x_2} = -295,268 - 0 = -295,268$$

$$X_2^{y_2} = + \frac{295,268}{367,288} = +0,8040$$

$Y_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_3x_2} = 2 \left(- \frac{3,0.6,0}{2.1,0} \cdot 1,212 + \frac{5,196 \cdot 6,0}{2 \cdot 0,326} \cdot 2,102 \right) = +179,202$$

$$\delta^0_{y_3x_2} = +179,202 - 0 = +179,202$$

$$X_2^{y_3} = - \frac{179,202}{367,288} = -0,488$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_4x_2} = 2 \left(\frac{3,0 \cdot 6,0}{2 \cdot 1,0} \cdot 0,5 + \frac{5,196 \cdot 6,0}{2 \cdot 0,326} \cdot 0,866 \right) = +73,816$$

$$\delta_{y_4x_2} = +73,816 - 0 = +73,816$$

$$X_2^{y_4} = - \frac{73,816}{367,288} = -0,201$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta y_5 x_2 = 2\left(+\frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 1{,}0} \cdot 0{,}866 + \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 0{,}5\right) = = +63{,}404$$

$$\delta_{y_5x_2} = +63{,}404 - 0 = +63{,}404$$

$$X_2^{y_5} = -\frac{63{,}404}{367{,}288} = -0{,}1726$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$X_2^{y_6} = 0$$

$$(X_3)\ \delta^0{}_{x_3x_3} = 2 \cdot \left(\frac{2{,}425 \cdot 2{,}425}{2 \cdot 0{,}186} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2{,}425 + \frac{2{,}102^2 \cdot 6{,}0}{0{,}326} + \frac{1{,}212^2 \cdot 6{,}0}{1{,}0}\right) = = 231{,}376$$

$$\delta_{x_3x_3} = 231{,}376 - 0{,}1603 \cdot 78{,}274 - 0 = 218{,}829$$

$X_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{x_4x_3} = 0$$

$$\delta_{x_4x_3} = 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_3^{x_4} = 0$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{x_5x_3} = 2\left(\frac{0{,}866 \cdot 6{,}0 \cdot 1{,}212}{1{,}0} + \frac{0{,}5 \cdot 6{,}0 \cdot 2{,}102}{0{,}326}\right) = +25{,}986$$

$$\delta_{x_5x_3} = +25{,}986 - 0{,}1603 \cdot 54{,}606 - 0 = +17{,}233$$

$$X_3^{x_5} = -\frac{17{,}233}{218{,}829} = -0{,}07875$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{x_6x_3} = 0 \qquad \delta_{x_6x_3} = 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_3^{x_6} = 0$$

$Y_1 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_1x_3} = 0 \qquad \delta_{y_2x_3} = 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_3^{y_1} = 0$$

$Y_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_2x_3} = 0 \qquad \delta_{y_2x_3} = 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_3^{y_2} = 0$$

$Y_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_3x_3} = 0 \qquad \delta_{y_3x_3} = 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_3^{y_3} = 0$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_4x_3} = 0 \qquad \delta_{y_4x_3} = 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_3^{y_4} = 0$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_5x_3} = 0 \qquad \delta_{y_5x_3} = 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_3^{y_5} = 0$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_6x_3} = 0 \qquad \delta_{y_6x_3} = 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_3^{y_6} = 0$$

$$(X_4)\ \delta^0{}_{x_4x_4} = 2 \cdot \left(\frac{1{,}0 \cdot 2{,}425 \cdot 1.0}{0{,}186} + \frac{0{,}5^2 \cdot 6{,}0}{1{,}0} + \frac{0{,}866^2 \cdot 6{,}0}{0{,}326}\right) = 56{,}682$$

$$\delta_{x_4x_4} = 56{,}682 - 0 - 0{,}250 \cdot 91{,}822 - 0 = +\,33{,}727$$

$X_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{x_5x_4} = 0 \qquad \delta_{x_5x_4} = 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_4^{x_5} = 0$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{x_6x_4} = 0 \qquad \delta_{x_6x_4} = 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_4^{x_6} = 0$$

$Y_1 = 1$ wywołuje

$$\delta_{y_1x_4} = 2\left(-\frac{0{,}5 \cdot 6{,}0 \cdot 5{,}196}{2 \cdot 1{,}0} - \frac{0{,}866 \cdot 6{,}0 \cdot 3{,}0}{2 \cdot 0{,}326}\right) = -\,63{,}404$$

$$\delta_{y_1x_4} = -\,63{,}404 - 0 - \overset{+}{0{,}250} \cdot \overset{-}{253{,}614} - 0 = 0 \qquad X_4^{y_1} = 0$$

$Y_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_2x_4} = 2\left(\frac{-3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 1{,}0} \cdot 0{,}5 + \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 0{,}866\right) = 73{,}816$$

$$\delta_{y_2x_4} = +\,73{,}816 - 0 - \overset{+}{0{,}250} \cdot \overset{+}{295{,}268} - 0 = 0 \qquad X_4^{y_2} = 0$$

$Y_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{x_3x_4} = 2\left(+\frac{1{,}212 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}5}{1{,}0} - \frac{2{,}120 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}866}{0{,}326}\right) = -\,59{,}734$$

$$\delta_{y_3x_4} = -\,59{,}734 - 0 - \overset{+}{0{,}250} \cdot \overset{-}{179{,}202} - 0 = -\,14{,}934$$

$$X_4^{y_3} = \frac{14{,}934}{33{,}727} = 0{,}4428$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_4x_4} = 2\left(\frac{0{,}5^2 \cdot 6{,}0}{1{,}0} - \frac{0{,}866^2 \cdot 6{,}0}{0{,}326}\right) = -\,24{,}606$$

$$\delta_{y_4x_4} = -\,24{,}606 - 0 - \overset{+}{0{,}250} \cdot \overset{-}{73{,}816} - 0 = -\,6{,}152$$

$$X_4^{y_4} = +\,\frac{6{,}152}{33{,}727} = +\,0{,}1824$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_5x_4} = 2\left(-\frac{0{,}866 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}5}{1{,}0} - \frac{0{,}5 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}866}{0{,}326}\right) = -\,21{,}134$$

$$\delta_{y_5x_4} = -\,21{,}134 - 0 - \overset{+}{0{,}250} \cdot \overset{-}{63{,}404} - 0 = -\,5{,}283$$

$$X_4^{y_5} = +\,\frac{5{,}283}{33{,}727} = +\,0{,}1566$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_6x_4} = 0 \qquad \delta_{y_6x_4} = 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_4^{y_6} = 0$$

$$(X_5)\quad \delta^0{}_{x_5x_5} = \frac{1{,}0 \cdot 4{,}85 \cdot 1{,}0}{0{,}186} \cdot 1{,}528 + \left(\frac{0{,}866^2 \cdot 6{,}0}{1{,}0} + \frac{0{,}5^2 \cdot 6{,}0}{0{,}326}\right) \cdot 2 = 58{,}045$$

$$\delta_{x_5x_5} = 58{,}045 - 0{,}1118 \cdot 54{,}606 - 0 - 0{,}07875 \cdot 17{,}233 - 0 = 50{,}576$$

$X_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{x_6x_5} = 0 \qquad \delta_{x_6x_5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_5^{x_6} = 0$$

$Y_1 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_1x_5} = 0 \qquad \delta_{y_1x_5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_5^{y_1} = 0$$

$Y_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_2x_5} = 0 \qquad \delta_{y_2x_5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_5^{y_2} = 0$$

$Y_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_3x_5} = 0 \qquad \delta_{y_3x_5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_5^{y_3} = 0$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_4x_5} = 0 \qquad \delta_{y_4x_5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_5^{y_4} = 0$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_5x_5} = 0 \qquad \delta_{y_5x_5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_5^{y_5} = 0$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_6x_5} = 0 \qquad \delta_{y_6x_5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_5^{y_6} = 0$$

$$(X_6)\quad \delta^0{}_{x_6x_6} = \frac{1{,}0 \cdot 4{,}85 \cdot 1{,}0}{0{,}186} + \frac{1{,}0 \cdot 6{,}0 \cdot 1{,}0}{1{,}0} \cdot 3{,}1 \cdot 2 = 63{,}275$$

$$\delta_{x_6x_6} = 63{,}275 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 63{,}275$$

$Y_1 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_1x_6} = 2 \cdot \left(- \frac{2{,}425 \cdot 6{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 3{,}1}{1}\right) = -90{,}210$$

$$\delta_{y_1x_6} = -90{,}210 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = -90{,}210$$

$$X_6^{y_1} = + \frac{90{,}210}{63{,}275} = +1{,}4257$$

$Y_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_2x_6} = 0 \qquad \delta_{y_2x_6} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_6^{y_2} = 0$$

$Y_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_3x_6} = 0 \qquad \delta_{y_3x_6} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_6^{y_3} = 0$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_4x_6} = 0 \qquad \delta_{y_4x_6} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_6^{y_4} = 0$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_5x_6} = 0 \qquad \delta_{y_5x_6} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0 \qquad X_6^{y_5} = 0$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_6x_6} = -1 \cdot 6{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 2 \cdot 3{,}1 = -37{,}20$$

$$\delta_{y_6x_6} = -37{,}20 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = -37{,}20$$

$$X_6^{y_6} = +\frac{37{,}20}{63{,}275} = +0{,}5879$$

Analogiczne wyniki dla biegunów W_1 do W_6

$$(Y_1)\quad \delta^0{}_{y_1y_1} = 2 \quad \delta^0{}_{x_1x_1} = 2 \cdot 488{,}294 = 976{,}588$$

$$\delta_{y_1y_1} = 976{,}588 - 0 - 0{,}6905 \cdot 253{,}614 - 0 - 0 - 0 - 1{,}4257 \cdot 90{,}210 = 672{,}856$$

$Y_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_2y_1} = 2 \quad \delta^0{}_{x_2x_1} = 0$$

$$\delta_{y_2y_1} = 0 - 0 - 0{,}\overset{+}{8}040 \cdot 2\overset{-}{5}3{,}614 - 0 - 0 - 0 - 0 = +203{,}906$$

$$Y_1^{y_2} = -\frac{203{,}906}{672{,}856} = -0{,}303$$

$Y_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_3y_1} = 2 \quad \delta_{x_3x_1} = 2 \cdot 78{,}274 = +156{,}548$$

$$\delta_{y_3y_1} = +156{,}548 - 0 - 0{,}\overline{6}905 \cdot 179{,}\overline{2}02 - 0 - 0 - 0 - 0 = +32{,}809$$

$$Y_1^{y_3} = -\frac{32{,}809}{672{,}856} = -0{,}04876$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_4y_1} = 2 \cdot \delta_{x_4x_1} = 0$$

$$\delta_{y_4y_1} = 0 - 0 - \overline{0},201 \cdot 25\overline{3},614 - 0 - 0 - 0 - 0 = -50{,}9764$$

$$Y_1^{y_4} = +\frac{50{,}9764}{672{,}856} = +0{,}07576$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_5y_1} = 2 \quad \delta_{x_5x_1} = 2 \cdot 54{,}606 = 109{,}212$$

$$\delta_{y_5y_1} = +109{,}212 - 0 - 0{,}\overline{1}726 \cdot 25\overline{3},614 - 0 - 0 - 0 - 0 = +65{,}438$$

$$Y_1^{y_5} + -\frac{65{,}438}{672{,}856} = -0{,}09725$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_6y_1} = 2 \quad \delta_{x_6x_1} = 0$$

$$\delta_{y_6y_1} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 1{,}42\overset{+}{5}7 \cdot 3\overset{+}{7},20 = -53{,}036$$

$$Y_1^{y_6} = +\frac{53{,}036}{672{,}856} = +0{,}07882$$

$Z_1 = 1$ wywołuje

$$\delta_{z_1y_1} = 2 \cdot \left(+ \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 1{,}0} \cdot \frac{2}{3} \cdot 5{,}196 - \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3{,}0 - \right.$$
$$\left. - 2{,}425^2 \cdot 6{,}0 \cdot 3{,}1\right) = -221{,}198$$

$$Y_1^{z_1} = + \frac{221{,}198}{672{,}85} = +0{,}3287$$

$Z_2 = 1$ wywołuje

$$\delta_{z_2y_1} = 2\left(- \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 1{,}0} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3{,}0 - \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot \frac{2}{3} \cdot 5{,}196\right) = -253{,}614$$

$$Y_1^{z_2} = + \frac{253{,}614}{672{,}856} = +0{,}377$$

$Z_3 = 1$ wywołuje

$$\delta_{z_3y_1} = \left(-1{,}212 \cdot 6{,}0 \cdot \frac{5{,}196}{2 \cdot 1{,}0} - \frac{2{,}102 \cdot 6{,}0}{0{,}326} \cdot \frac{3{,}0}{2}\right) \cdot 2 = -153{,}846$$

$$Y_1^{z_3} = + \frac{153{,}846}{672{,}856} = +0{,}2284$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta_{z_4y_1} = 2\left(\frac{0{,}5 \cdot 0{,}6}{1{,}0} \cdot \frac{5{,}196}{2} + \frac{0{,}866 \cdot 6{,}0}{0{,}326} \cdot \frac{3{,}0}{2}\right) = +63{,}404$$

$$Y_1^{z_4} = - \frac{63{,}404}{672{,}856} = -0{,}09423$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta_{z_5y_1} = 2\left(- \frac{0{,}5 \cdot 6{,}0}{0{,}326} \cdot \frac{3{,}0}{2} + \frac{0{,}866 \cdot 6{,}0}{1{,}0} \cdot \frac{5{,}196}{2}\right) = -0{,}610$$

$$Y_1^{z_5} = + \frac{0{,}610}{672{,}856} = +0{,}000907$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta_{z_6y_1} = +2{,}425 \cdot 6{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 3{,}1 \cdot 2 = +90{,}210$$

$$Y_1^{z_6} = - \frac{90{,}210}{672{,}856} = -0{,}1341$$

$$(Y_2)\ \delta^0_{y_2y_2} = 2\ \delta^0_{x_2x_2} = 2 \cdot 367{,}288 = 734{,}576$$

$$\delta_{y_2y_2} = 734{,}576 - 0 - 0{,}804 \cdot 295{,}268 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0{,}303 \cdot 203{,}906 = 435{,}397$$

$Y_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_3y_2} = 0$$

$$\delta_{y_3y_2} = 0 - 0 - \overset{+}{0{,}804} \cdot \overset{-}{179{,}202} - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}303} \cdot \overset{-}{32{,}809} = +134{,}137$$

$$Y_2^{y_3} = - \frac{134{,}137}{435{,}397} = -0{,}3018$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_4y_2} = 2\ \delta^0_{x_4x_2} = -2 \cdot 91{,}822 = -183{,}644$$

$$\delta_{y_4y_2} = -183{,}644 - 0 - \overset{-}{0{,}201} \cdot \overset{+}{295{,}268} - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}303} \cdot \overset{+}{50{,}9764} = = -108{,}845$$

$$Y_2^{y_4} = +\frac{108{,}845}{435{,}397} = +0{,}2500$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_5y_2} = 0$$

$$\delta_{y_5y_2} = 0 - 0 - \overset{-}{0{,}1726} \cdot \overset{+}{295{,}288} - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}303} \cdot \overset{-}{65{,}438} = +31{,}139$$

$$Y_2^{y_5} = -\frac{31{,}139}{435{,}397} = -0{,}07152$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_6y_2} = 0$$

$$\delta_{y_6y_2} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{+}{0{,}07882} \cdot \overset{-}{203{,}906} = +16{,}072$$

$$Y_2^{y_6} = -\frac{16{,}072}{435{,}397} = -0{,}03691$$

$Z_1 = 1$ wywołuje

$$\delta'_{z_1y_2} = -\delta^0_{y_1x_2} = -253{,}614$$

$$\delta_{z_1y_2} = -253{,}614 - \overset{+}{0{,}3287} \cdot \overset{-}{203{,}906} = -186{,}590$$

$$Y_2 = +\frac{186{,}590}{435{,}397} = +0{,}4285$$

$Z_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_2y_2} = \delta^0_{y_2x_2} = -295{,}268$$

$$\delta_{z_2y_2} = -295{,}268 - \overset{-}{0{,}303} \cdot \overset{+}{253{,}614} = -218{,}423$$

$$Y_2^{z_2} = +\frac{218{,}423}{435{,}397} = +0{,}5017$$

$Z_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_3y_2} = -\delta^0_{y_3x_2} = -179{,}202$$

$$\delta_{z_3y_2} = -179{,}202 - \overset{-}{0{,}303} \cdot \overset{+}{153{,}846} = -132{,}587$$

$$Y_2^{z_3} = +\frac{132{,}587}{435{,}397} = +0{,}3045$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_4y_2} = \delta^0_{y_4x_2} = +73{,}816$$

$$\delta_{z_4y_2} = +73{,}816 - \overset{-}{0{,}303} \cdot \overset{-}{63{,}404} = +54{,}6046$$

$$Y_2^{z_4} = -\frac{54{,}6046}{435{,}397} = -0{,}1254$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z5y2} = -\delta^0_{y5x2} = -63,404$$

$$\delta_{z5y2} = 63,404 - \overset{-}{0,303} \cdot \overset{+}{0,610} = -63,2192$$

$$Y_2^{z_5} = +\frac{63,2192}{435,397} = +0,1452$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z6y2} = \delta^0_{y6x2} = 0 \quad \delta_{z6y2} = 0 - \overset{-}{0,303} \cdot \overset{-}{90,210} = -27,3336$$

$$Y_2^{z_6} = +\frac{27,3336}{435,397} = -0,06278$$

$$(Y_3) \quad \delta^0_{y3y3} = 2\ \delta_{x3x3} = 2 \cdot 231,376 = 462,752$$

$$\delta_{y3y3} = 462,752 - 0 - 0,488 \cdot 179,202 - 0 - 0,4428 \cdot 14,934 - 0 - 0 - 0,04876 \cdot$$
$$\cdot\, 32,809 - 0,3081 \cdot 134,137 = 325,761$$

$Y_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y4y3} = 2\ \delta^0_{x4x3} = 0$$

$$\delta_{y4y3} = 0 - 0 - \overset{-}{0,488} \cdot \overset{-}{73,816} - 0 - \overset{+}{0,4428} \cdot \overset{+}{6,152} - 0 - 0 - \overset{-}{0,04876} \cdot \overset{+}{50,9764} -$$
$$- \overset{-}{0,3081} \cdot \overset{+}{108,845} = 2,7255$$

$$Y_3^{y_4} = +\frac{2,7255}{325,761} = +0,008367$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y5y3} = 2\ \delta^0_{x5x3} = 2 \cdot 25,986 = +51,972$$

$$\delta_{y5y3} = +51,972 - 0 - \overset{-}{0,488} \cdot \overset{-}{63,404} - 0 - \overset{+}{0,4428} \cdot \overset{+}{5,283} - 0 - 0 -$$
$$- \overset{-}{0,04876} \cdot \overset{-}{65,438} - \overset{-}{0,3081} \cdot \overset{-}{31,139} = +5,907$$

$$Y_3^{y_5} = -\frac{5,907}{325,761} = -0,01813$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y6y3} = 2\ \delta^0_{x6x3} = 0$$

$$\delta_{y6y3} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{+}{0,07882} \cdot \overset{-}{32,809} - \overset{-}{0,3081} \cdot \overset{-}{16,072} = -2,366$$

$$Y_3^{y_6} = +\frac{2,366}{325,761} = +0,007262$$

$Z_1 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z1y3} = 2 \cdot \left(-\frac{5,196 \cdot 6,0}{2} \cdot 1,212 - \frac{3,0 \cdot 6,0}{2 \cdot 0,326} \cdot 2,102 \right) = -153,8464$$

$$\delta_{z1y3} = -153,8464 - \overset{-}{0,04876} \cdot \overset{+}{221,198} - \overset{-}{0,3081} \cdot \overset{+}{186,590} = -85,5724$$

$$Y_3^{z_1} = +\frac{85,7524}{325,761} = +0,2627$$

$Z_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_2y_3} = 2\left(\frac{3{,}0\cdot 6{,}0}{2}\cdot 1{,}212 - \frac{5{,}196\cdot 6{,}0}{2\cdot 0{,}326}\cdot 2{,}102\right) = -179{,}202$$

$$\delta_{z_2y_3} = -179{,}202 - \overset{+}{0{,}377}\cdot \overset{-}{32{,}809} - \overset{-}{0{,}3081}\cdot \overset{+}{218{,}423} = -99{,}537$$

$$Y_3^{z_2} = +\frac{99{,}537}{325{,}761} = +0{,}3056$$

$Z_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_3y_3} = 2\left(1{,}212\cdot 6{,}0\cdot 1{,}212 - \frac{2{,}102\cdot 6{,}0\cdot 2{,}102}{0{,}326}\right) = -145{,}132$$

$$\delta_{z_3y_3} = -145{,}132 - \overset{-}{0{,}04876}\cdot \overset{+}{153{,}846} - \overset{-}{0{,}3081}\cdot \overset{+}{132{,}587} = -96{,}781$$

$$Y_3^{z_3} = +\frac{96{,}781}{325{,}761} = +0{,}2971$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_4y_3} = 2\left(-0{,}5\cdot 6{,}0\cdot 1{,}212 + \frac{2{,}102\cdot 6{,}0\cdot 0{,}866}{0{,}326}\right) = +59{,}734$$

$$\delta_{z_4y_3} = +59{,}734 - \overset{-}{0{,}04876}\cdot \overset{-}{63{,}404} - \overset{-}{0{,}3081}\cdot \overset{-}{54{,}6046} = +39{,}8187$$

$$Y_3^{z_4} = -\frac{39{,}8187}{325{,}761} = -0{,}1222$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_5y_3} = 2\left(-1{,}212\cdot 6{,}0\cdot 0{,}866 - \frac{2{,}102\cdot 6{,}0\cdot 0{,}5}{0{,}326}\right) = -51{,}2862$$

$$\delta_{z_5y_3} = -51{,}2862 - \overset{-}{0{,}04876}\cdot \overset{+}{0{,}610} - \overset{-}{0{,}3081}\cdot \overset{+}{63{,}2192} = -31{,}7786$$

$$Y_3^{z_5} = +\frac{31{,}7786}{325{,}761} = +0{,}09755$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_6y_3} = 0$$

$$\delta_{z_6y_3} = 0 - \overset{-}{0{,}04876}\cdot \overset{-}{90{,}210} - \overset{-}{0{,}3081}\cdot \overset{+}{27{,}3336} = +4{,}0229$$

$$Y_3^{z_6} = -\frac{4{,}0229}{325{,}761} = -0{,}012349$$

$$(Y_4)\ \delta^0_{y_4y_4} = 2\,\delta^0_{x_4x_4} = 2\cdot 56{,}682 = +113{,}364$$

$$\delta_{y_4y_4} = 113{,}364 - 0 - 0{,}201\cdot 73{,}816 - 0 - 0{,}1824\cdot 6{,}152 - 0 - 0 - 0{,}07576\cdot$$
$$\cdot\, 50{,}9764 - 0{,}25\cdot 108{,}845 - 0{,}008367\cdot 2{,}7255 = +66{,}309$$

$Y_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y_5y_4} = 2\,\delta^0_{x_5x_4} = 0$$

$$\delta_{y_5y_4} = 0 - 0 - \overset{-}{0{,}201}\cdot \overset{-}{63{,}404} - 0 - \overset{+}{0{,}1824}\cdot \overset{+}{5{,}283} - 0 - 0 - \overset{+}{0{,}07576}\cdot \overset{-}{65{,}438} -$$

$$-\overset{+}{0{,}25}\cdot\overset{-}{31{,}139}-\overset{+}{0{,}008367}\cdot\overset{-}{5{,}907}=-0{,}916$$

$$Y_4^{y_5}=+\frac{0{,}916}{66{,}309}=+0{,}01381$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{y_6y_4}=2\ \delta^0{}_{x_6x_6}=0$$

$$\delta_{y_6y_4}=0-0-0-0-0-0-0-\overset{+}{0{,}07576}\cdot\overset{+}{53{,}036}-\overset{+}{0{,}250}\cdot\overset{-}{16{,}072}-$$

$$-\overset{+}{0{,}008367}\cdot\overset{+}{2{,}366}=-0{,}0198$$

$$Y_4^{y_6}=+\frac{0{,}0198}{66{,}309}=+0{,}0002986$$

$Z_1 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z_1y_4}=-\delta^0{}_{y_1x_4}=+63{,}404$$

$$\delta_{z_1y_4}=+63{,}404-\overset{+}{0{,}07576}\cdot\overset{+}{221{,}198}-\overset{+}{0{,}250}\cdot\overset{+}{186{,}590}-\overset{+}{0{,}008367}\cdot\overset{+}{85{,}5724}=$$
$$=-0{,}718$$

$$Y_4^{z_1}=+\frac{0{,}718}{66{,}309}=+0{,}01083$$

$Z_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z_2y_4}=\delta^0{}_{y_2x_4}=+73{,}816$$

$$\delta_{z_2y_4}=73{,}816-\overset{+}{0{,}07576}\cdot\overset{+}{253{,}614}-\overset{+}{0{,}250}\cdot\overset{+}{218{,}423}-\overset{+}{0{,}008367}\cdot\overset{+}{99{,}537}=$$
$$=-0{,}8364$$

$$Y_4^{z_2}=+\frac{0{,}8364}{66{,}309}=+0{,}01261$$

$Z_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z_3y_4}=-\delta^0{}_{y_3x_4}=+59{,}734$$

$$\delta_{z_3y_4}=+59{,}734-\overset{+}{0{,}07576}\cdot\overset{+}{153{,}846}-\overset{+}{0{,}250}\cdot\overset{+}{132{,}587}-\overset{+}{0{,}008367}\cdot\overset{+}{96{,}781}=$$
$$=+14{,}122$$

$$Y_4^{z_3}=-\frac{14{,}122}{66{,}309}=-0{,}2130$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z_4y_4}=\delta^0{}_{y_4x_4}=-24{,}606$$

$$\delta_{z_4y_4}=-24{,}606-\overset{+}{0{,}07576}\cdot\overset{-}{63{,}404}-\overset{+}{0{,}250}\cdot\overset{-}{54{,}6046}-\overset{+}{0{,}008367}\cdot\overset{-}{39{,}8187}=$$
$$=-5{,}819$$

$$Y_4^{z_4}=+\frac{5{,}819}{66{,}309}=+0{,}08775$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z_5y_4}=-\delta^0{}_{y_5x_4}=+21{,}134$$

$$\delta_{z5y4} = +21{,}134 - \overset{+}{0{,}07576} \cdot \overset{+}{0{,}610} - \overset{+}{0{,}250} \cdot \overset{+}{63{,}2192} - \overset{+}{0{,}008367} \cdot \overset{+}{31{,}7786} =$$
$$= +5{,}017$$

$$Y_4^{z_5} = -\frac{5{,}017}{66{,}309} = -0{,}07566$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z6y4} = \delta^0_{y6x4} = 0$$

$$\delta_{z6y4} = 0 - \overset{+}{0{,}07576} \cdot \overset{-}{90{,}210} - \overset{+}{0{,}250} \cdot \overset{+}{27{,}3336} - \overset{+}{0{,}008367} \cdot \overset{-}{4{,}0229} = +0{,}03366$$

$$Y_4^{z_6} = -\frac{0{,}03366}{66{,}309} = -0{,}000508$$

$$(Y_5)\ \delta^0_{y5y5} = 2\ \delta^0_{x5x5} = 2 \cdot 58{,}045 = 116{,}090$$

$$\delta_{y5y5} = +116{,}090 - 0 - 0{,}172 \cdot 63{,}404 - 0 - 0{,}1566 \cdot 5{,}283 - 0 - 0 - 0{,}09725 \cdot$$
$$\cdot 65{,}438 - 0{,}07152 \cdot 31{,}139 - 0{,}01813 \cdot 5{,}907 - 0{,}01381 \cdot 0{,}916 = 95{,}608$$

$Y_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{y6y5} = 2\ \delta^0_{x6x5} = 0$$

$$\delta_{y6y5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}09725} \cdot \overset{+}{53{,}036} - \overset{-}{0{,}07152} \cdot \overset{-}{16{,}072} -$$
$$- \overset{-}{0{,}01813} \cdot \overset{+}{2{,}366} - \overset{+}{0{,}01381} \cdot \overset{+}{0{,}0198} = +4{,}0509$$

$$Y_5^{y_6} = -\frac{4{,}0509}{95{,}608} = -0{,}04237$$

$Z_1 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z1y5} = 2\left(\frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2} \cdot 0{,}866 - \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 0{,}5\right) = -0{,}610$$

$$\delta_{z1y5} = -0{,}610 - \overset{+}{0{,}3287} \cdot \overset{-}{65{,}438} - \overset{-}{0{,}07152} \cdot \overset{+}{186{,}590} - \overset{-}{0{,}01813} \cdot \overset{+}{85{,}5724} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01381} \cdot \overset{+}{0{,}718} = +35{,}785$$

$$Y_5^{z_1} = -\frac{35{,}785}{95{,}608} = -0{,}3742$$

$Z_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z2y5} = -\delta^0_{x2y5} = -63{,}404$$

$$\delta_{z2y5} = -63{,}404 - \overset{+}{0{,}377} \cdot \overset{-}{65{,}438} - \overset{+}{0{,}5017} \cdot \overset{-}{31{,}139} - \overset{+}{0{,}3056} \cdot \overset{-}{5{,}907} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01261} \cdot \overset{+}{0{,}916} = -21{,}323$$

$$Y_5^{z_2} = +\frac{21{,}323}{95{,}608} = +0{,}2230$$

$Z_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z3y5} = -\left(1{,}212 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}866 + \frac{2{,}102 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}5}{0{,}326}\right)2 = -51{,}2822$$

$$\delta_{z3y5} = -51{,}2822 - \overset{-}{0{,}09725} \cdot \overset{+}{153{,}846} - \overset{-}{0{,}07152} \cdot \overset{+}{132{,}587} - \overset{-}{0{,}01813} \cdot \overset{+}{96{,}781} -$$

$$- \overset{+}{0{,}01381} \cdot \overset{-}{14{,}122} = -24{,}8885$$

$$Y_5^{z_3} = + \frac{24{,}8885}{95{,}608} = +0{,}2603$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z4y5} = -\delta^0{}_{x4y5} = +21{,}134$$

$$\delta_{z4y5} = +21{,}134 - \overset{-}{0{,}09725} \cdot \overset{-}{63{,}404} - \overset{-}{0{,}07152} \cdot \overset{-}{54{,}6046} - \overset{-}{0{,}01813} \cdot \overset{-}{39{,}8187} -$$

$$- \overset{+}{0{,}01381} \cdot \overset{+}{5{,}819} = +10{,}261$$

$$Y_5^{z_4} = - \frac{10{,}261}{95{,}608} = -0{,}10732$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z5y5} = 2 \cdot \left(0{,}866 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}866 - \frac{0{,}5 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}5}{0{,}326}\right) = -0{,}202$$

$$\delta_{z5y5} = -0{,}202 - \overset{-}{0{,}09725} \cdot \overset{+}{0{,}610} - \overset{-}{0{,}07152} \cdot \overset{+}{63{,}2192} - \overset{-}{0{,}01813} \cdot \overset{+}{31{,}7786} -$$

$$- \overset{+}{0{,}01381} \cdot \overset{-}{5{,}017} = +5{,}023$$

$$Y_5^{z_5} = - \frac{5{,}025}{95{,}608} = -0{,}05256$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z6y5} = 0$$

$$\delta_{z6y5} = 0 - \overset{-}{0{,}09727} \cdot \overset{-}{90{,}210} - \overset{-}{0{,}07152} \cdot \overset{+}{27{,}333} - \overset{-}{0{,}01813} \cdot \overset{-}{4{,}0229} -$$

$$- \overset{+}{0{,}01381} \cdot \overset{-}{0{,}03366} = -6{,}891$$

$$Y_5^{z_6} = + \frac{6{,}891}{95{,}608} = +0{,}07207$$

$$(Y_6)\ \delta^0{}_{y6y6} = 2\ \delta^0{}_{x6x6} = 2 \cdot 63{,}275 = 126{,}550$$

$$\delta_{y6y6} = 126{,}550 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0{,}5879 \cdot 37{,}20 - 0{,}078822 \cdot 53{,}036 -$$

$$- 0{,}03691 \cdot 16{,}072 - 0{,}007262 \cdot 2{,}366 - 0{,}0002986 \cdot 0{,}0198 -$$

$$- 0{,}04237 \cdot 4{,}0509 = 99{,}718$$

$Z_1 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z1y6} = -\delta^0{}_{y1x6} = +90{,}210$$

$$\delta_{z1y6} = +90{,}210 - \overset{+}{0{,}3287} \cdot \overset{+}{53{,}036} - \overset{+}{0{,}4285} \cdot \overset{-}{16{,}072} - \overset{+}{0{,}2627} \cdot \overset{+}{2{,}366} -$$

$$- \overset{+}{0{,}01083} \cdot \overset{+}{0{,}0198} - \overset{-}{0{,}3742} \cdot \overset{-}{4{,}0509} = +77{,}527$$

$$Y_6^{z_1} = - \frac{77{,}527}{99{,}718} = -0{,}7775$$

$Z_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z2y6} = \delta^0{}_{y2x6} = 0$$

$$\delta_{z2y6} = 0 - \overset{+}{0{,}377} \cdot \overset{+}{53{,}036} - \overset{+}{0{,}5017} \cdot \overset{-}{16{,}072} - \overset{+}{0{,}3056} \cdot \overset{+}{2{,}366} - \overset{+}{0{,}01261} \cdot$$
$$\cdot\ \overset{+}{0{,}0198} - \overset{+}{0{,}2230} \cdot \overset{-}{4{,}0509} = -11{,}752$$

$$Y_6^{Z_2} = + \frac{11{,}752}{99{,}718} = +0{,}1179$$

$Z_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z3y6} = \delta^0{}_{y3x6} = 0$$

$$\delta_{z3y6} = 0 - \overset{+}{0{,}2284} \cdot \overset{+}{53{,}036} - \overset{+}{0{,}3045} \cdot \overset{-}{16{,}072} - \overset{+}{0{,}2971} \cdot \overset{+}{2{,}366} -$$
$$- \overset{-}{0{,}2130} \cdot \overset{+}{0{,}0198} - \overset{+}{0{,}2603} \cdot \overset{-}{4{,}0509} = -6{,}864$$

$$Y_6^{Z_3} = + \frac{6{,}864}{99{,}718} = +0{,}06883$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z4y6} = \delta^0{}_{y4x6} = 0$$

$$\delta_{z4y6} = 0 - \overset{-}{0{,}09423} \cdot \overset{+}{53{,}036} - \overset{-}{0{,}1254} \cdot \overset{-}{16{,}072} - \overset{-}{0{,}1222} \cdot \overset{+}{2{,}366} -$$
$$- \overset{+}{0{,}08775} \cdot \overset{+}{0{,}0198} - \overset{-}{0{,}10732} \cdot \overset{-}{4{,}0509} = +2{,}835$$

$$Y_6^{Z_4} = - \frac{2{,}835}{99{,}718} = -0{,}02843$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z5y6} = -\delta^0{}_{y5x6} = 0$$

$$\delta_{z5y6} = 0 - \overset{+}{0{,}000907} \cdot \overset{+}{53{,}036} - \overset{+}{0{,}1452} \cdot \overset{-}{16{,}072} - \overset{+}{0{,}09755} \cdot \overset{+}{2{,}366} -$$
$$- \overset{-}{0{,}07566} \cdot \overset{+}{0{,}0198} - \overset{-}{0{,}05256} \cdot \overset{-}{4{,}0509} = +1{,}843$$

$$Y_6^{Z_5} = - \frac{1{,}843}{99{,}718} = -0{,}01848$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0{}_{z5y6} = \delta^0{}_{y6x6} = -37{,}20$$

$$\delta_{z6y6} = -37{,}20 - \overset{-}{0{,}1341} \cdot \overset{+}{53{,}036} - \overset{+}{0{,}06278} - \overset{-}{16{,}072} - \overset{-}{0{,}012349} \cdot \overset{+}{2{,}366} -$$
$$- \overset{+}{0{,}000508} \cdot \overset{+}{0{,}0198} - \overset{+}{0{,}0720} \cdot \overset{-}{4{,}0509} = -28{,}758$$

$$Y_6^{Z_6} = + \frac{28{,}758}{99{,}718} = +0{,}2884$$

$$(Z_1)\ \delta^0{}_{z1z1} = \delta^0{}_{y1y1} = 672{,}856$$

$$\delta_{z1z1} = 672{,}856 - 0{,}3287 \cdot 221{,}198 - 0{,}4285 \cdot 186{,}590 - 0{,}2627 \cdot 85{,}5724 -$$
$$- 0{,}01083 \cdot 0{,}718 - 0{,}3742 \cdot 35{,}785 - 0{,}7775 \cdot 77{,}527 = 424{,}038$$

$Z_2 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_2 z_1} = \delta_{y_2 y_1} = +203{,}906$$

$$\delta_{z_2 z_1} = +203{,}906 - \overset{+}{0{,}3287} \cdot \overset{+}{253{,}614} - \overset{+}{0{,}4285} \cdot \overset{+}{218{,}423} - \overset{+}{0{,}2627} \cdot \overset{+}{99{,}537} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01083} \cdot \overset{+}{0{,}8364} - \overset{-}{0{,}3742} \cdot \overset{+}{21{,}323} - \overset{-}{0{,}7775} \cdot \overset{+}{11{,}725} = +17{,}909$$

$$Z_1^{z_2} = -\frac{17{,}909}{424{,}038} = -0{,}04223$$

$Z_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_3 z_1} = \delta_{y_3 y_1} = +32{,}809$$

$$\delta_{z_3 z_1} = +32{,}809 - \overset{+}{0{,}3287} \cdot \overset{+}{153{,}846} - \overset{+}{0{,}4285} \cdot \overset{+}{132{,}587} - \overset{+}{0{,}2627} \cdot \overset{+}{96{,}781} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01083} \cdot \overset{-}{14{,}122} - \overset{-}{0{,}3742} \cdot \overset{+}{24{,}8885} - \overset{-}{0{,}7775} \cdot \overset{+}{6{,}864} = -85{,}194$$

$$Z_1^{z_3} = +\frac{85{,}194}{424{,}038} = +0{,}20091$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_4 z_1} = \delta_{y_4 y_1} = -50{,}9764$$

$$\delta_{z_4 z_1} = -50{,}9764 - \overset{+}{0{,}3287} \cdot \overset{-}{63{,}404} - \overset{+}{0{,}4285} \cdot \overset{-}{54{,}6046} - \overset{+}{0{,}2627} \cdot \overset{-}{39{,}8187} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01083} \cdot \overset{+}{5{,}819} - \overset{-}{0{,}3742} \cdot \overset{-}{10{,}261} - \overset{-}{0{,}7775} \cdot \overset{-}{2{,}835} = -2{,}384$$

$$Z_1^{z_4} = +\frac{2{,}384}{424{,}038} = +0{,}005622$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_5 z_1} = \delta_{y_5 y_1} = +65{,}438$$

$$\delta_{z_5 z_1} = +65{,}438 - \overset{+}{0{,}3287} \cdot \overset{+}{0{,}610} - \overset{+}{0{,}4285} \cdot \overset{+}{63{,}2192} - \overset{+}{0{,}2627} \cdot \overset{+}{31{,}7786} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01083} \cdot \overset{-}{5{,}017} - \overset{-}{0{,}3742} \cdot \overset{-}{5{,}025} - \overset{-}{0{,}7775} \cdot \overset{-}{1{,}843} = +26{,}542$$

$$Z_1^{z_5} = -\frac{26{,}542}{424{,}038} = -0{,}06259$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_6 z_1} = \delta_{y_6 y_1} = -53{,}036$$

$$\delta_{z_6 z_1} = -53{,}036 - \overset{+}{0{,}3287} \cdot \overset{-}{90{,}210} - \overset{+}{0{,}4285} \cdot \overset{+}{27{,}3336} - \overset{+}{0{,}2627} \cdot \overset{-}{4{,}0229} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01083} \cdot \overset{-}{0{,}0337} - \overset{-}{0{,}3742} \cdot \overset{+}{6{,}891} - \overset{-}{0{,}7775} \cdot \overset{+}{28{,}758} = -9{,}101$$

$$Z_1^{z_6} = +\frac{9{,}101}{424{,}038} = +0{,}02146$$

$$(Z_2)\ \delta^0_{z_2 z_2} = 734{,}576 - 0 - 0{,}804 \cdot 295{,}268 - 0 - 0 - 0 - 0 = 497{,}181$$

$$\delta_{z_2 z_2} = 497{,}181 - 0{,}377 \cdot 253{,}614 - 0{,}5017 \cdot 218{,}423 - 0{,}3056 \cdot 99{,}537 -$$
$$- 0{,}01261 \cdot 0{,}8364 - 0{,}2230 - 21{,}323 - 0{,}1179 \cdot 11{,}752 - 0{,}04223 \cdot$$
$$\cdot 17{,}909 = 254{,}659$$

$Z_3 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_3 z_2} = 0 - 0 - 0{,}804 \cdot 179{,}202 - 0 - 0 - 0 - 0 = +\,144{,}078$$

$$\delta_{z_3 z_2} = +\,144{,}078 - \overset{+}{0{,}377} \cdot \overset{+}{153{,}846} - \overset{+}{0{,}5017} \cdot \overset{+}{132{,}587} - \overset{+}{0{,}3056} \cdot \overset{+}{96{,}781} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01261} \cdot \overset{-}{14{,}122} - \overset{+}{0{,}2230} \cdot \overset{+}{24{,}889} - \overset{+}{0{,}1179} \cdot \overset{+}{6{,}864} -$$
$$- \overset{-}{0{,}04223} \cdot \overset{+}{85{,}194} = -\,12{,}600$$

$$Z_2^{z_3} = +\,\frac{12{,}600}{254{,}659} = +\,0{,}04948$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_4 z_2} = -\,183{,}644 - 0 - \overset{-}{0{,}201} \cdot \overset{+}{295{,}268} - 0 - 0 - 0 - 0 = -\,124{,}291$$

$$\delta_{z_4 z_2} = -\,124{,}291 - \overset{+}{0{,}377} \cdot \overset{-}{63{,}404} - \overset{+}{0{,}5017} \cdot \overset{-}{54{,}6046} - \overset{+}{0{,}3056} \cdot \overset{-}{39{,}8187} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01261} \cdot \overset{+}{5{,}819} - \overset{+}{0{,}2230} \cdot \overset{-}{10{,}261} - \overset{+}{0{,}1179} \cdot \overset{-}{2{,}835} - \overset{-}{0{,}04223} \cdot \overset{+}{2{,}384} =$$
$$= -\,58{,}174$$

$$Z_2^{z_4} = +\,\frac{58{,}174}{254{,}659} = +\,0{,}2284$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_5 z_2} = 0 - 0 - \overset{-}{0{,}1726} \cdot \overset{+}{295{,}288} - 0 - 0 - 0 - 0 = +\,50{,}967$$

$$\delta_{z_5 z_2} = +\,50{,}967 - \overset{+}{0{,}377} \cdot \overset{+}{0{,}610} - \overset{+}{0{,}5017} \cdot \overset{+}{63{,}2192} - \overset{+}{0{,}3056} \cdot \overset{+}{31{,}7786} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01261} \cdot \overset{-}{5{,}017} - \overset{+}{0{,}2230} \cdot \overset{-}{5{,}025} - \overset{+}{0{,}1179} \cdot \overset{-}{1{,}843} - \overset{-}{0{,}04223} \cdot \overset{-}{26{,}542} =$$
$$= +\,9{,}588$$

$$Z_2^{z_5} = -\,\frac{9{,}588}{254{,}659} = -\,0{,}03765$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_6 z_2} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0$$

$$\delta_{z_6 z_2} = +\,0 - \overset{+}{0{,}377} \cdot \overset{-}{90{,}210} - \overset{+}{0{,}5017} \cdot \overset{+}{27{,}3336} - \overset{+}{0{,}3056} \cdot \overset{-}{4{,}0229} -$$
$$- \overset{+}{0{,}01261} \cdot \overset{-}{0{,}03366} - \overset{+}{0{,}2230} \cdot \overset{+}{6{,}891} - \overset{+}{0{,}1179} \cdot \overset{+}{28{,}758} -$$
$$- \overset{-}{0{,}04223} \cdot \overset{+}{9{,}101} = +\,16{,}982$$

$$Z_2^{z_6} = \frac{16{,}982}{254{,}659} = -\,0{,}06669$$

$$(Z_3)\ \delta^0_{z_3 z_3} = 462{,}752 - 0 - 0{,}488 \cdot 179{,}202 - 0 - 0{,}4428 \cdot 14{,}934 - 0 - 0 = 368{,}689$$

$$\delta_{z_3 z_3} = 368{,}689 - 0{,}2284 \cdot 153{,}846 - 0{,}3045 \cdot 132{,}587 - 0{,}2971 \cdot 96{,}781 -$$
$$- 0{,}2130 \cdot 14{,}122 - 0{,}2603 \cdot 24{,}8885 - 0{,}06883 \cdot 6{,}864 \cdot 0{,}20091 \cdot 85{,}194 -$$
$$- 0{,}04948 \cdot 12{,}600 = 236{,}727$$

$Z_4 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_4z_3} = 0 - 0 - \overset{-}{0{,}488} \cdot \overset{-}{73{,}816} - 0 - \overset{+}{0{,}4428} \cdot \overset{+}{6{,}152} - 0 - 0 = -38{,}740$$

$$\begin{aligned}\delta_{z_4z_3} = & -38{,}7462 - \overset{+}{0{,}2284} \cdot \overset{-}{63{,}404} - \overset{+}{0{,}3045} \cdot \overset{-}{54{,}6046} - \overset{+}{0{,}2971} \cdot \overset{-}{39{,}8187} - \\ & - \overset{-}{0{,}2130} \cdot \overset{+}{5{,}819} - \overset{+}{0{,}2603} \cdot \overset{-}{10{,}261} - \overset{+}{0{,}06883} \cdot \overset{-}{2{,}835} - \\ & - \overset{+}{0{,}20091} \cdot \overset{+}{2{,}384} - \overset{+}{0{,}04948} \cdot \overset{+}{58{,}174} = +4{,}940\end{aligned}$$

$$Z_3^{z_4} = -\frac{4{,}940}{236{,}727} = -0{,}02087$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_5z_3} = +51{,}972 - 0 - \overset{-}{0{,}488} \cdot \overset{-}{63{,}404} - 0 - \overset{+}{0{,}4428} \cdot \overset{+}{5{,}283} - 0 - 0 = +18{,}692$$

$$\begin{aligned}\delta_{z_5z_3} = & +18{,}692 - \overset{+}{0{,}2284} \cdot \overset{+}{0{,}610} - \overset{+}{0{,}3045} \cdot \overset{+}{63{,}2192} - \overset{+}{0{,}2971} \cdot \overset{+}{31{,}7786} - \\ & - \overset{-}{0{,}2130} \cdot \overset{-}{5{,}017} - \overset{+}{0{,}2603} \cdot \overset{-}{5{,}025} - \overset{+}{0{,}06883} \cdot \overset{-}{1{,}843} - \\ & - \overset{+}{0{,}20091} \cdot \overset{-}{26{,}542} - \overset{+}{0{,}04948} \cdot \overset{-}{9{,}588} = -3{,}965\end{aligned}$$

$$Z_3^{z_5} = +\frac{3{,}965}{236{,}727} = +0{,}01675$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_6z_3} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0$$

$$\begin{aligned}\delta_{z_6z_3} = & -0 - \overset{+}{0{,}2284} \cdot \overset{-}{90{,}210} - \overset{+}{0{,}3045} \cdot \overset{+}{27{,}3336} - \overset{+}{0{,}2971} \cdot \overset{-}{4{,}0229} - \\ & - \overset{-}{0{,}2130} \cdot \overset{-}{0{,}03366} - \overset{+}{0{,}2603} \cdot \overset{+}{6{,}891} - \overset{+}{0{,}06883} \cdot \overset{+}{28{,}758} - 0 - \\ & - \overset{+}{0{,}20091} \cdot \overset{+}{9{,}101} - \overset{+}{0{,}04948} \cdot \overset{-}{16{,}982} = +8{,}708\end{aligned}$$

$$Z_3^{z_6} = -\frac{8{,}708}{236{,}727} = -0{,}03678$$

$$(Z_4)\quad \delta^0_{z_4z_4} = +113{,}364 - 0 - 0{,}201 \cdot 73{,}816 - 0 - 0{,}1824 \cdot 6{,}152 - 0 - 0 = +97{,}405$$

$$\begin{aligned}\delta_{z_4z_4} = & \, 97{,}405 - 0{,}09423 \cdot 63{,}404 - 0{,}1254 \cdot 54{,}6046 - 0{,}1222 \cdot 39{,}8187 - \\ & - 0{,}08775 \cdot 5{,}819 - 0{,}10732 \cdot 10{,}261 - 0{,}02843 \cdot 2{,}835 - 0{,}005622 \cdot 2{,}384 - \\ & - 0{,}2284 \cdot 58{,}174 - 0{,}02087 \cdot 4{,}940 = 63{,}693\end{aligned}$$

$Z_5 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_5z_4} = 0 - 0 - \overset{-}{0{,}201} \cdot \overset{-}{63{,}404} - 0 - \overset{+}{0{,}1824} \cdot \overset{+}{5{,}283} - 0 - 0 = -13{,}708$$

$$\begin{aligned}\delta_{z_5z_4} = & -13{,}708 - \overset{-}{0{,}09423} \cdot \overset{+}{0{,}610} - \overset{-}{0{,}1254} \cdot \overset{+}{63{,}2192} - \overset{-}{0{,}1222} \cdot \overset{+}{31{,}7786} - \\ & - \overset{+}{0{,}08775} \cdot \overset{-}{5{,}017} - \overset{-}{0{,}10732} \cdot \overset{-}{5{,}025} - \overset{-}{0{,}02843} \cdot \overset{-}{1{,}843} - \\ & - \overset{+}{0{,}005622} \cdot \overset{-}{26{,}542} - \overset{+}{0{,}2284} \cdot \overset{-}{9{,}588} - \overset{-}{0{,}02087} \cdot \overset{+}{3{,}965} = +0{,}421\end{aligned}$$

$$Z_4^{z_5} = -\frac{0{,}421}{63{,}693} = -0{,}0066$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_6z_4} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0$$

$$\delta_{z_6z_4} = 0 - \overset{-}{0{,}09423} \cdot \overset{-}{90{,}210} - \overset{-}{0{,}1254} \cdot \overset{+}{27{,}3336} - \overset{-}{0{,}1222} \cdot \overset{-}{4{,}0229} -$$
$$- \overset{+}{0{,}08775} \cdot \overset{-}{0{,}03366} - \overset{-}{0{,}10732} \cdot \overset{+}{6{,}891} - \overset{-}{0{,}02843} \cdot \overset{+}{28{,}758} -$$
$$- \overset{+}{0{,}005622} \cdot \overset{+}{9{,}101} - \overset{+}{0{,}2284} \cdot \overset{-}{16{,}982} - \overset{-}{0{,}02087} \cdot \overset{-}{8{,}708} = -0{,}358$$

$$Z_4^{z_6} = + \frac{0.358}{63{,}695} = +0{,}00562$$

(Z_5) $\delta^0_{z_5z_5} = 116{,}09 - 0 - 0{,}1726 \cdot 63{,}404 - 0 - 0{,}1566 \cdot 5{,}283 - 0 - 0 = 104{,}319$

$$\delta_{z_5z_5} = 104{,}319 - 0{,}000907 \cdot 0{,}610 - 0{,}1452 \cdot 63.2192 - 0{,}09755 \cdot 31{,}7786 -$$
$$- 0{,}07566 \cdot 5{,}017 - 0{,}05256 \cdot 5{,}025 - 0{,}01848 \cdot 1{,}843 - 0{,}06259 \cdot 26{,}542 -$$
$$- 0{,}03765 \cdot 9{,}588 - 0{,}01675 \cdot 3{,}965 - 0{,}0066 \cdot 0{,}421 = 89{,}270$$

$Z_6 = 1$ wywołuje

$$\delta^0_{z_6z_5} = 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0$$

$$\delta_{z_6z_5} = 0 - \overset{+}{0{,}000907} \cdot \overset{-}{90{,}210} - \overset{+}{0{,}1452} \cdot \overset{+}{27{,}3336} - \overset{+}{0{,}09755} \cdot \overset{-}{4{,}0229} -$$
$$- \overset{-}{0{,}07566} \cdot \overset{-}{0{,}03366} - \overset{-}{0{,}05256} \cdot \overset{+}{6{,}891} - \overset{-}{0{,}01848} \cdot \overset{+}{28{,}758} -$$
$$- \overset{-}{0{,}06259} \cdot \overset{+}{9{,}101} - \overset{-}{0{,}03765} \cdot \overset{-}{16{,}982} - \overset{+}{0{,}01675} \cdot \overset{-}{8{,}708} - \overset{-}{0{,}0066} \cdot \overset{+}{0{,}358} = -2{,}526$$

$$Z_5^{z_6} = + \frac{2{,}526}{89{,}270} = +0{,}02830$$

(Z_6) $\delta^0_{z_6z_6} = 126{,}550 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0{,}5879 \cdot 37{,}20 = 104{,}68$

$$\delta_{z_6z_6} = 104{,}680 - 0{,}1341 \cdot 90{,}210 - 0{,}06278 \cdot 27{,}3336 - 0{,}012349 \cdot 4{,}0229 -$$
$$- 0{,}000508 \cdot 0{,}0337 - 0{,}07207 \cdot 6{,}891 - 0{,}2884 \cdot 28{,}758 - 0{,}02146 \cdot 9{,}101 -$$
$$- 0{,}06669 \cdot 16{,}982 - 0{,}03678 \cdot 8{,}708 - 0{,}00562 \cdot 0{,}358 - 0{,}02830 \cdot 2{,}526 = 80{,}305$$

II. Etapowe siły biegunowe

$(\overline{X}_1, \overline{W}_1)$ $\qquad \delta^0_{px_1} = 0 \qquad \overline{X}_1 = 0 \qquad \overline{W}_1 = 0$

$(\overline{X}_2, \overline{W}_2)$ $\qquad \delta^0_{px_2} = 2 \cdot \left(- \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3{,}0 + \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot \frac{2}{3} \cdot 5{,}196 \right) =$

$$= 128{,}9066$$

$\delta_{px_2} = +128{,}9066 - 0 = +128{,}9066 \qquad \overline{X}_2 = - \frac{128{,}9066}{367.288} = -0{,}351$

$$\overline{W}_2 = + \frac{128{,}9066}{367{,}288} = +0{,}351$$

$(\overline{X}_3, \overline{W}_3)$ $\qquad \delta^0_{px_3} = 0 \qquad \overline{X}_3 = 0 \qquad \overline{W}_3 = 0$

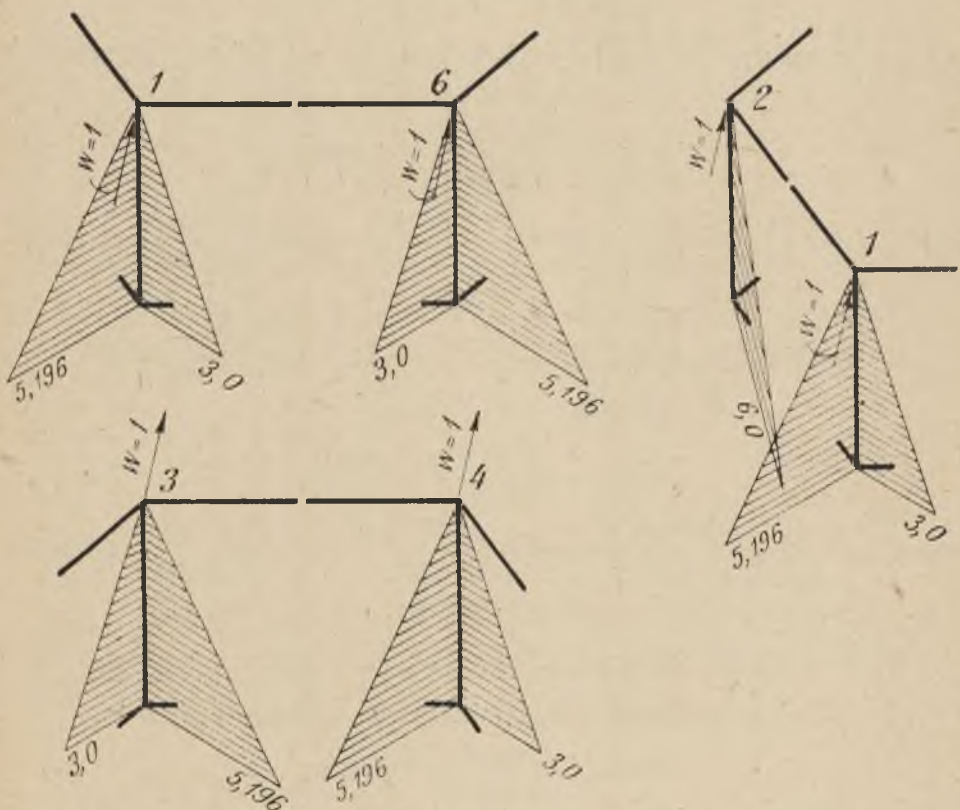
$$\delta_{px_3} = 0 - 0 - 0{,}351 \cdot 0 = 0$$

$$(\overline{X}_4, \overline{W}_4)\qquad \delta^0_{px4} = 2\cdot\left(\frac{5,196\cdot 6,0}{2}\cdot 0,5 - \frac{3,0\cdot 6,0}{2\cdot 0,326}\cdot 0,866\right) = -32,2274$$

$$\delta_{px4} = -32,2274 - 0 - \overset{-}{0,351}\cdot \overset{+}{91,822} - 0 = 0 \qquad \overline{X}_4 = 0$$

$$\overline{W}_4 = 0$$

$$(\overline{X}_5, \overline{W}_5)\qquad \delta^0_{px5} = 0 \qquad \overline{X}_5 = 0 \qquad \overline{W}_5 = 0$$



Rys. 18. Momenty zginające od jednostkowych sił zewnętrznych

$$\delta_{px5} = 0 - 0 - 0,351\cdot 0 - 0 - 0 = 0$$

$$(\overline{X}_6, \overline{W}_6)\qquad \delta^0_{px6} = 0 \qquad \overline{X}_6 = 0 \qquad \overline{W}_6 = 0$$

$$\delta_{px6} = 0 - 0 - 0,351\cdot 0 - 0 - 0 - 0 = 0$$

$$(\overline{Y}_1)\quad \delta^0_{py1} = 2\left(+\frac{6,0\cdot 6,0}{2\cdot 0,326}\cdot\frac{2}{3}\cdot 3,0 - \frac{5,196\cdot 6,0}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot 5,196 + \right.$$

$$\left. + \frac{3,0\cdot 6,0}{2\cdot 0,326}\cdot\frac{2}{3}\cdot 3,0\right) = 223,292$$

$$\delta_{py1} = 223{,}292 - 0 - \overset{-}{0{,}351} \cdot \overset{-}{253{,}614} - 0 - 0 - 0 - 0 = +134{,}273$$

$$\bar{Y}_1 = -\frac{134{,}273}{672{,}856} = -0{,}1996$$

$$(\bar{Y}_2)\quad \delta^0_{py2} = 2 \cdot \left(\frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot \frac{2}{3} \cdot 6{,}0 - \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3{,}0 - \right.$$

$$\left. - \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 5{,}196 \right) = 128{,}914$$

$$\delta_{py2} = +128{,}914 - 0 - \overset{-}{0{,}351} \cdot \overset{+}{295{,}268} - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot \overset{-}{203{,}906} =$$

$$= +191{,}853$$

$$\bar{Y}_2 = -\frac{191{,}853}{435{,}397} = -0{,}4406$$

$$(\bar{Y}_3)\quad \delta^0_{py3} = 2 \left(+ \frac{6{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 2{,}102 + \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2} \cdot 1{,}212 \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 2{,}102 \right) =$$

$$= 385{,}970$$

$$\delta_{py3} = 385{,}970 - 0 - \overset{-}{0{,}351} \cdot \overset{-}{179{,}202} - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot \overset{-}{32{,}809} -$$

$$- \overset{-}{0{,}4406} \cdot \overset{-}{134{,}137} = +257{,}420$$

$$\bar{Y}_3 = -\frac{257{,}420}{325{,}761} = -0{,}7902$$

$$(\bar{Y}_4)\quad \delta^0_{py4} = 2 \left(- \frac{6{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \right) \cdot 0{,}866 + \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2} \cdot 0{,}5 + \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 0{,}866 \Bigg) =$$

$$= -32{,}226$$

$$\delta_{py4} = -32{,}226 - 0 - \overset{-}{0{,}351} \cdot \overset{-}{73{,}816} - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot$$

$$\cdot \overset{+}{50{,}9764} - \overset{-}{0{,}4406} \cdot \overset{+}{108{,}845} - \overset{-}{0{,}7902} \cdot \overset{+}{2{,}7255} = +2{,}151$$

$$\bar{Y}_4 = -\frac{2{,}151}{66{,}309} = -0{,}03244$$

$$(\bar{Y}_5)\quad \delta^0_{py5} = 2 \left(\frac{6{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 0{,}5 - \frac{5{,}196 \cdot 6{,}0}{2} \cdot 0{,}866 + \frac{3{,}0 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 0{,}326} \cdot 0{,}5 \right) =$$

$$= +55{,}824$$

$$\delta_{py5} = +55{,}824 - 0 - \overset{-}{0{,}351} \cdot \overset{-}{63{,}404} - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot$$

$$\cdot \overset{-}{65{,}438} - \overset{-}{0{,}4406} \cdot \overset{-}{31{,}139} - \overset{-}{0{,}7902} \cdot \overset{-}{5{,}907} - \overset{-}{0{,}03244} \cdot \overset{+}{0{,}916} = +2{,}150$$

$$\bar{Y}_5 = -\frac{2{,}150}{95{,}608} = -0{,}02249$$

$$(\bar{Y}_6)\quad \delta^0_{py6} = 0$$

$$\delta_{py6} = 0 - 0 - \overset{-}{0{,}351} \cdot 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot \overset{+}{53{,}036} -$$

$$- \overset{-}{0{,}4406} \cdot \overset{-}{16{,}072} - \overset{-}{0{,}7902} \cdot \overset{+}{2{,}366} - \overset{-}{0{,}03244} \cdot \overset{+}{0{,}0198} - \overset{-}{0{,}02249} \cdot \overset{-}{4{,}0509} =$$

$$= + 5{,}284$$

$$\overline{Y}_6 = - \frac{5{,}284}{99{,}718} = - 0{,}05299$$

$$(\overline{Z}_1) \quad \delta^0{}_{pz1} = - \delta_{py1} = - 134{,}273$$

$$\delta_{pz1} = - 134{,}273 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot \overset{+}{221{,}198} - \overset{-}{0{,}4406} \cdot \overset{+}{186{,}590} - \overset{-}{0{,}7902} \cdot$$

$$\cdot \overset{+}{85{,}5724} - \overset{-}{0{,}03244} \cdot \overset{+}{0{,}718} - \overset{-}{0{,}02249} \cdot \overset{-}{35{,}785} - \overset{-}{0{,}05299} \cdot \overset{-}{77{,}527} =$$

$$= + 54{,}818$$

$$\overline{Z}_1 = - \frac{54{,}818}{424{,}038} = - 0{,}1293$$

$$(\overline{Z}_2) \quad \delta^0{}_{pz2} = - 128{,}914 - 0 - \overset{+}{0{,}351} \cdot \overset{+}{295{,}268} - 0 - 0 - 0 - 0 = - 232{,}553$$

$$\delta_{pz2} = - 232{,}553 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot \overset{+}{253{,}614} - \overset{-}{0{,}4406} \cdot \overset{+}{218{,}423} - \overset{-}{0{,}7902} \cdot$$

$$\cdot \overset{+}{99{,}537} - \overset{-}{0{,}03244} \cdot \overset{+}{0{,}8364} - \overset{-}{0{,}02249} \cdot \overset{+}{21{,}323} - \overset{-}{0{,}05299} \cdot \overset{+}{11{,}752} -$$

$$- \overset{-}{0{,}1293} \cdot \overset{-}{17{,}909} = - 8{,}227$$

$$\overline{Z}_2 = + \frac{8{,}227}{254{,}659} = + 0{,}03231$$

$$(\overline{Z}_3) \quad \delta^0{}_{pz3} = - 385{,}970 - \overset{+}{0{,}351} \cdot \overset{-}{179{,}202} - 0 - 0 - 0 - 0 = - 323{,}070$$

$$\delta_{pz3} = - 323{,}070 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot \overset{+}{153{,}846} - \overset{-}{0{,}4406} \cdot \overset{+}{132{,}587} - \overset{-}{0{,}7902} \cdot \overset{+}{96{,}781} -$$

$$- \overset{-}{0{,}03244} \cdot \overset{-}{14{,}122} - \overset{-}{0{,}02249} \cdot \overset{+}{24{,}8885} - \overset{-}{0{,}05299} \cdot \overset{+}{6{,}864} - \overset{-}{0{,}1293} \cdot$$

$$\cdot \overset{+}{85{,}194} - \overset{+}{0{,}03231} \cdot \overset{+}{12{,}600} = - 146{,}393$$

$$\overline{Z}_3 = + \frac{146{,}393}{236{,}727} = + 0{,}6184$$

$$(\overline{Z}_4) \quad \delta^0{}_{pz4} = + 32{,}226 - 0 - \overset{+}{0{,}351} \cdot \overset{-}{73{,}816} - 0 - 0 - 0 - 0 = + 58{,}135$$

$$\delta_{pz4} = + 58{,}135 - \overset{-}{0{,}1996} \cdot \overset{-}{63{,}404} - \overset{-}{0{,}4406} \cdot \overset{-}{54{,}6046} - \overset{-}{0{,}7902} \cdot \overset{-}{39{,}8187} -$$

$$- \overset{-}{0{,}03244} \cdot \overset{+}{5{,}819} - \overset{-}{0{,}02249} \cdot \overset{-}{10{,}261} - \overset{-}{0{,}05299} \cdot \overset{-}{2{,}835} - \overset{-}{0{,}1293} \cdot \overset{+}{2{,}384} -$$

$$- \overset{+}{0{,}03231} \cdot \overset{+}{58{,}174} - \overset{+}{0{,}6184} \cdot \overset{-}{4{,}940} = - 8{,}753$$

$$\overline{Z}_4 = + \frac{8{,}753}{63{,}693} = + 0{,}1374$$

$$(\overline{Z}_5) \quad \delta^0{}_{pz5} = - 55{,}824 - 0 - \overset{+}{0{,}351} \cdot \overset{-}{63{,}404} - 0 - 0 - 0 - 0 = - 33{,}569$$

$$\delta_{pz5} = -33,569 - \overset{-}{0,1996} \cdot \overset{+}{0,610} - \overset{-}{0,4406} \cdot \overset{+}{63,2192} - \overset{-}{0,7902} \cdot \overset{+}{31,7786} -$$

$$- \overset{-}{0,03244} \cdot \overset{-}{5,017} - \overset{-}{0,02249} \cdot \overset{-}{5,025} - \overset{-}{0,05299} \cdot \overset{-}{1,843} - \overset{-}{0,1293} \cdot \overset{-}{26,542}$$

$$- \overset{+}{0,03231} \cdot \overset{-}{9,588} - \overset{+}{0,6184} \cdot \overset{+}{3,965} - \overset{+}{0,1374} \cdot \overset{-}{0,421} = +13,628$$

$$\overline{Z}_5 = -\frac{13,628}{89,270} = -0,1527$$

$$(\overline{Z}_6 = Z_6) \quad \delta^0_{pz6} = 0 - 0 - 0,351 \cdot 0 - 0 - 0 - 0 - 0 = 0$$

$$\delta_{pz6} = 0 - \overset{-}{0,1996} \cdot \overset{-}{90,210} - \overset{-}{0,4406} \cdot \overset{+}{27,3336} - \overset{-}{0,7902} \cdot \overset{-}{4,0229} - \overset{-}{0,03244} \cdot$$

$$\cdot \overset{-}{0,03366} - \overset{-}{0,02249} \cdot \overset{+}{6,891} - \overset{-}{0,05299} \cdot \overset{+}{28,758} - \overset{-}{0,1293} \cdot \overset{+}{9,101} - \overset{+}{0,03231} \cdot$$

$$\cdot \overset{-}{16,982} - \overset{+}{0,6184} \cdot \overset{-}{8,708} - \overset{+}{0,1374} \cdot \overset{+}{0,358} - \overset{-}{0,1527} \cdot \overset{+}{2,526} = 0$$

$$\overline{Z}_6 = 0$$

III. Rzeczywiste siły biegunowe

$$Z_6 = 0$$

$$Z_5 = -0,1527 + \overset{+}{0,0002} \cdot \overset{+}{0,0283} = -0,1527$$

$$Z_4 = +0,1374 + \overset{+}{0,0002} \cdot \overset{+}{0,00562} + \overset{-}{0,1527} \cdot \overset{-}{0,0066} = +0,1384$$

$$Z_3 = +0,6184 + 0 \cdot \overset{-}{0,03678} + \overset{-}{0,1527} \cdot \overset{+}{0,01675} + \overset{+}{0,1384} \cdot \overset{-}{0,02087} = +0,6129$$

$$Z_2 = +0,03231 + 0 \cdot \overset{-}{0,06669} + \overset{-}{0,1527} \cdot \overset{-}{0,03765} + \overset{+}{0,1384} \cdot \overset{+}{0,2284} + \overset{+}{0,6129} \cdot \overset{+}{0,04948} = +0,10$$

$$Z_1 = -0,1293 + \overset{+}{0,02146} + \overset{-}{0,1527} \cdot \overset{-}{0,06259} + \overset{+}{0,1384} \cdot \overset{+}{0,005622} + \overset{+}{0,6129} \cdot \overset{+}{0,20091} + \overset{+}{0,10} \cdot \overset{-}{0,04223} = 0$$

$$Y_6 = -0,5299 + 0 \cdot \overset{+}{0,2884} + \overset{-}{0,1527} \cdot \overset{-}{0,1848} + \overset{+}{0,1384} + \overset{-}{0,10732} + \overset{+}{0,6129} \cdot \overset{+}{0,06886} + \overset{+}{0,10} \cdot \overset{+}{0,1179} + 0 \cdot \overset{-}{0,7775} = 0$$

$$Y_5 = 0,02249 + 0 \cdot \overset{+}{0,07207} + \overset{-}{0,1527} \cdot \overset{-}{0,05256} + \overset{+}{0,1384} \cdot \overset{-}{0,10732} + \overset{+}{0,6129} \cdot \overset{+}{0,2603} + \overset{+}{0,10} \cdot \overset{+}{0,2230} + 0 \cdot \overset{-}{0,3742} + \overset{-}{0,04237} = +0,15252$$

$$Y_4 = -0,03244 + 0 \cdot \overset{-}{0,000508} + \overset{-}{0,1527} \cdot \overset{-}{0,07566} + \overset{+}{0,1384} \cdot \overset{+}{0,08775} + \overset{+}{0,6129} \cdot \overset{-}{0,2130} + \overset{+}{0,10} \cdot \overset{+}{0,01261} + 0 \cdot \overset{+}{0,1083} + 0 \cdot 0,0002986 + \overset{+}{0,1525} \cdot \overset{+}{0,01381} = -0,1359$$

$$Y_3 = -0{,}7902 + 0 \cdot 0{,}012349 + \overset{-}{0{,}1527} \cdot \overset{+}{0{,}09755} + \overset{+}{0{,}1384} \cdot \overset{-}{1222} +$$
$$+ \overset{+}{0{,}6129} \cdot \overset{+}{0{,}2971} + \overset{+}{0{,}10} \cdot \overset{+}{0{,}3056} + 0 \cdot 0{,}2627 + 0 \cdot 0{,}007262 +$$
$$+ \overset{+}{0{,}15252} \cdot \overset{-}{0{,}01813} + \overset{-}{0{,}13587} \cdot \overset{+}{0{,}008367} = -0{,}6100$$

$$Y_2 = -0{,}4406 + 0 \cdot \overset{+}{0{,}06278} + \overset{-}{0{,}1527} \cdot \overset{+}{0{,}1452} + \overset{+}{0{,}1384} \cdot \overset{-}{0{,}1254} +$$
$$+ \overset{+}{0{,}6129} \cdot \overset{+}{0{,}3045} + \overset{+}{0{,}10} \cdot \overset{+}{0{,}5017} + 0 \cdot \overset{+}{0{,}4285} + 0 \cdot \overset{-}{0{,}03691} +$$
$$+ \overset{+}{0{,}15252} \cdot \overset{-}{0{,}07152} + \overset{-}{0{,}1359} \cdot \overset{+}{0{,}250} + \overset{-}{0{,}610} \cdot \overset{-}{0{,}3081} = -0{,}1007$$

$$Y_1 = -0{,}1996 + \overset{-}{0{,}1341} + \overset{-}{0{,}1527} \cdot \overset{-}{0{,}000907} + \overset{+}{0{,}1384} \cdot \overset{-}{0{,}09423} +$$
$$+ \overset{+}{0{,}6129} \cdot \overset{+}{0{,}2284} + \overset{+}{0{,}10} \cdot \overset{+}{0{,}377} + 0 \cdot \overset{+}{0{,}3287} + 0 \cdot \overset{+}{0{,}07882} +$$
$$+ \overset{+}{0{,}15252} \cdot \overset{-}{0{,}09725} + \overset{-}{0{,}1359} \cdot \overset{+}{0{,}07576} + \overset{-}{0{,}610} \cdot \overset{-}{0{,}04876} +$$
$$+ \overset{-}{0{,}1007} \cdot \overset{-}{0{,}303} = 0$$

Wielkości hiperstatyczne Y i Z muszą mieć bezwzględne wartości równe i przeciwne znaki. Eliminujemy niedokładności obliczenia tworząc średnią arytmetyczną.

$Y_6 = Z_6 = 0$
$Y_5 = Z_5 = +0{,}1526$
$Y_4 = Z_4 = -0{,}1372$
$Y_3 = Z_3 = -0{,}6115$
$Y_2 = Z_2 = -0{,}1003$
$Y_1 = Z_1 = 0$

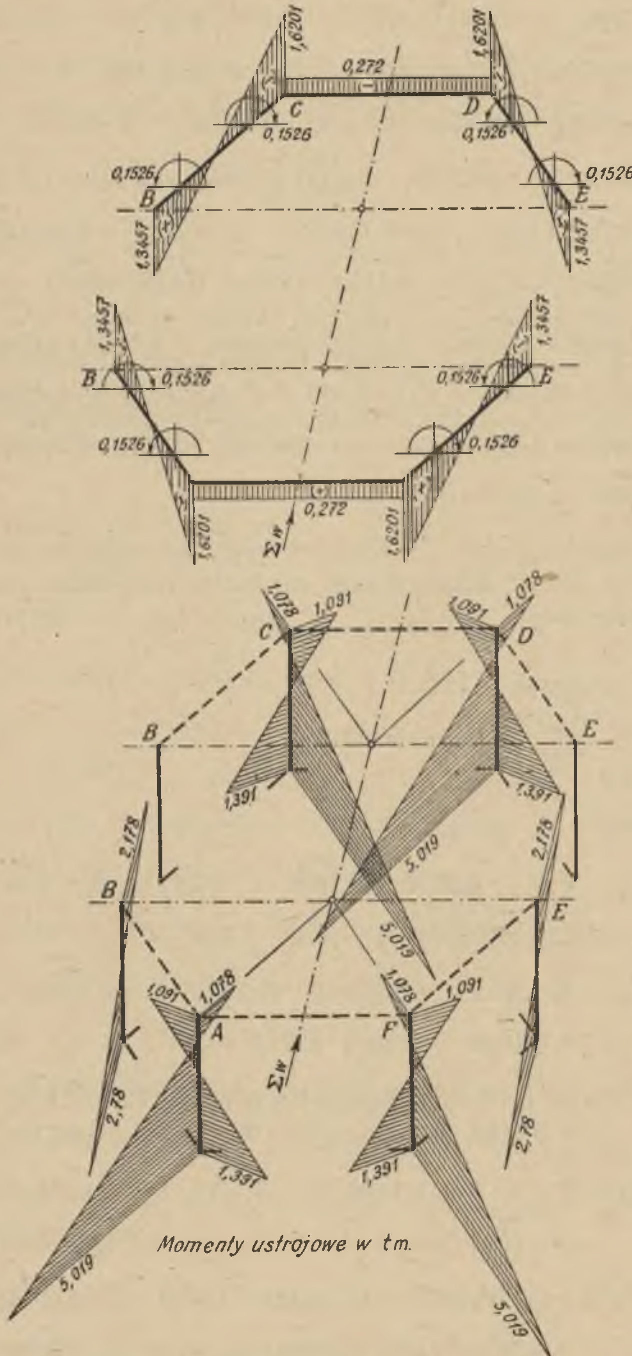
$$X_6 = -W_6 = 0 + 0 \cdot 0{,}5879 + \overset{+}{0{,}1526} \cdot 0 + \overset{-}{0{,}1372} \cdot 0 + \overset{-}{0{,}6115} \cdot 0 +$$
$$+ \overset{-}{0{,}1003} \cdot 0 + 0 \cdot \overset{+}{1{,}4257} = 0$$

$$X_5 = -W_5 = 0 + 0 \cdot 0 + \overset{+}{0{,}1526} \cdot 0 + \overset{-}{0{,}1372} \cdot 0 + \overset{-}{0{,}6115} \cdot 0 +$$
$$+ \overset{-}{0{,}1003} \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 0$$

$$X_4 = -W_4 = 0 + 0 + \overset{+}{0{,}1526} \cdot \overset{+}{0{,}1566} + \overset{-}{0{,}1372} \cdot \overset{+}{0{,}1824} + \overset{-}{0{,}6115} \cdot \overset{+}{0{,}4428} +$$
$$+ 0{,}1003 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = -0{,}2719$$

$$X_3 = -W_3 = 0 + 0 \cdot 0 + \overset{+}{0{,}1526} \cdot 0 + \overset{-}{0{,}1372} \cdot 0 + \overset{-}{0{,}6115} \cdot 0 -$$
$$- \overset{-}{0{,}1003} \cdot 0 - 0 \cdot 0 - 0 \cdot 0 - 0 \cdot 0{,}0745 - 0{,}2719 \cdot 0 = 0$$

$$X_2 = -W_2 = -0{,}351 + 0 \cdot 0 + \overset{+}{0{,}1526} \cdot \overset{-}{0{,}1726} + \overset{-}{0{,}1372} \cdot \overset{-}{0{,}201} +$$
$$+ \overset{-}{0{,}6115} \cdot \overset{-}{0{,}488} + \overset{-}{0{,}1003} \cdot \overset{+}{0{,}8040} + 0 \cdot \overset{-}{0{,}6905} + 0 \cdot 0 +$$
$$+ 0 \cdot \overset{-}{0} + \overset{-}{0{,}2719} \cdot \overset{+}{0{,}250} + 0 \cdot 0 = -0{,}200$$


1,6201
0,272
1,6201
C
D
0,1526
0,1526
0,1526
0,1526
B
E
1,3457
1,3457
1,3457
1,3457
B
E
0,1526
0,1526
0,1526
0,1526
0,272
1,6201
1,6201
Σw
1,078
1,091
1,091
1,078
C
D
B
E
1,391
1,391
2,178
2,178
5,019
B
E
5,019
1,091
1,078
1,078
1,091
A
F
Σw
2,78
2,78
1,391
1,391
Momenty ustrojowe w tm.
5,019
5,019

Rys. 19

$$X_1 = -W_1 = 0 + 0 \cdot 0 + 0{,}1\overset{+}{5}26 \cdot 0 + 0{,}1\overset{-}{3}72 \cdot 0 + 0{,}6\overset{-}{1}15 \cdot 0 +$$
$$+ 0{,}1\overset{-}{0}03 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0{,}11\overset{-}{1}8 + 0{,}\overset{-}{2}719 \cdot 0 +$$
$$+ 0 \cdot 0{,}1\overset{-}{6}03 + 0{,}\overset{-}{2}00 \cdot 0 = 0$$

IV. Momenty ustrojowe (rys. 19)

Słupy *A, F, C, D*

$$M_2^d = -5{,}196 - 0{,}200 \cdot 3{,}0 + 0{,}272 \cdot 0{,}50 - 0{,}1003 \cdot 3{,}0 + 1{,}6201 \cdot 0{,}5 + $$
$$+ 0{,}1526 \cdot 0{,}866 = -5{,}019$$

$$M_1^d = +3{,}0 - 0{,}200 \cdot 5{,}196 + 0{,}272 \cdot 0{,}866 + 0{,}1003 \cdot 5{,}196 -$$
$$- 1{,}6201 \cdot 0{,}866 + 0{,}1526 \cdot 0{,}5 = +1{,}391$$

$$M_2^g = +0{,}272 \cdot 0{,}5 + 1{,}6201 \cdot 0{,}5 + 0{,}1526 \cdot 0{,}866 = +1{,}078$$

$$M_1^g = +0{,}272 \cdot 0{,}866 - 1{,}6201 \cdot 0{,}866 + 0{,}1526 \cdot 0{,}50 = -1{,}091$$

Słupy *B, E*

$$M_2^d = 0 - 0{,}1003 \cdot 3{,}0 + 0{,}1003 \cdot 3{,}0 - 1{,}3457 \cdot 0{,}5 + 1{,}3457 \cdot 0{,}5 -$$
$$- 0{,}1526 \cdot 0{,}866 + 0{,}1526 \cdot 0{,}866 = 0$$

$$M_1^d = -6{,}0 + 0{,}1003 \cdot 5{,}196 \cdot 2 + 1{,}3457 \cdot 0{,}866 \cdot 2 - 0{,}1526 \cdot 0{,}5 \cdot 2 =$$
$$= -2{,}780$$

$$M_2^g = 0$$

$$M_g^1 = 0 + 0 + 1{,}3457 \cdot 0{,}866 \cdot 2 - 0{,}1526 \cdot 0{,}5 \cdot 2 = +2{,}178$$