

Edward MAŁEK

GRAFICZNO-ANALITYCZNY SPOSÓB WYZNACZANIA NOŚNOŚCI
PROSTOKĄTNYCH PRZEKROJÓW ŻELBETOWYCH
UKOŚNIE MIMOŚRODOWO ŚCISKANYCH W PRZYPADKU DUŻEGO MIMOŚRODU

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę pozwalającą na wyznaczenie nośności zadanego prostokątnego przekroju żelbetowego z uwzględnieniem rzeczywistego rozkładu sił w przekroju.

Metodę skonfrontowano z nową polską normą PN-76/B-03264 a także zilustrowano przykładem liczbowym.

1. Wstęp

Sposób wyznaczenia nośności dowolnych przekrojów żelbetowych ukośnie mimośrodowo ściskanych przedstawiono szczegółowo w [1].

Celem niniejszego opracowania jest podanie sposobu zastosowania metody przedstawionej w [1], w odniesieniu do najczęściej spotykanych w praktyce budowlanej przekrojów żelbetowych prostokątnych. Dlatego też część teoretyczną ograniczono tu jedynie do informacji niezbędnych dla całościowego zobrazowania zagadnienia.

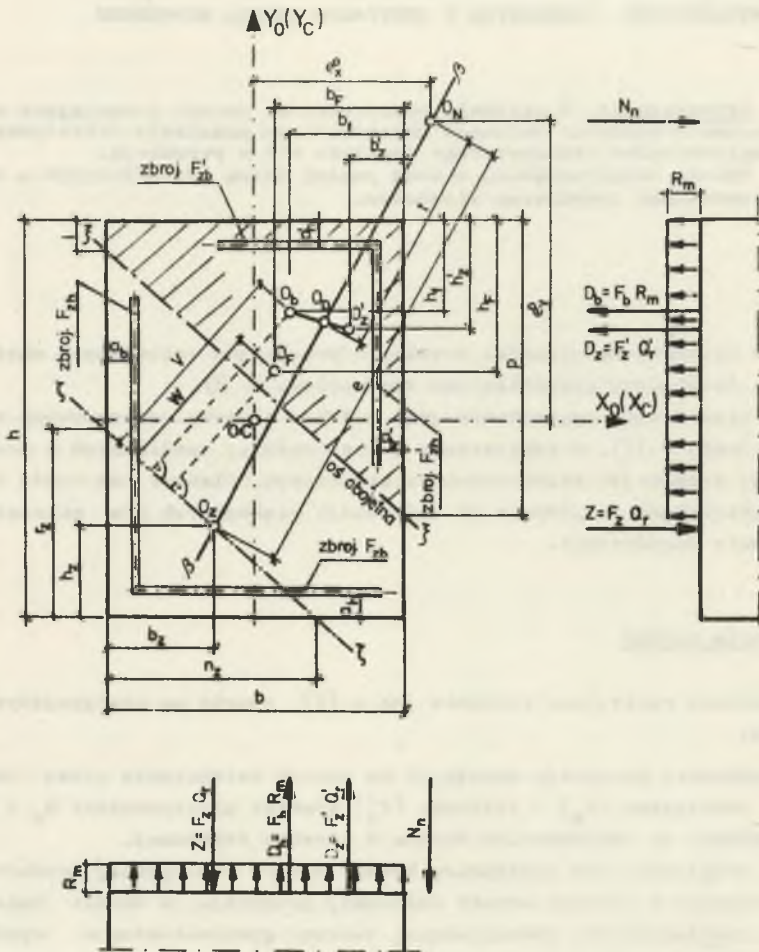
2. Założenia ogólne

Opracowanie niniejsze, podobnie jak w [1], oparto na następujących założeniach:

- 2.1. Zniszczenie przekroju następuje na skutek osiągnięcia przez zbrojenie rozciągane (F_z) i ściskane (F_x) granicy plastyczności Q_x i Q_z jednocześnie ze zniszczeniem betonu w strefie ściskanej.
- 2.2. Nie uwzględnia się współpracy betonu strefy rozciąganej przekroju.
- 2.3. Naprężenia w betonie strefy ściskanej przekroju, w chwili zniszczenia rozkładają się równomiernie, tworząc graniastosłup o wysokości R_m równej wartości wytrzymałości betonu na ściskanie przy zginaniu.
- 2.4. W chwili zniszczenia wypadkowe: ciągnięć Z i ciśnięć D w przekroju oraz zewnętrzna mimośrodowo działająca siła niszcząca N_n , znajdują się we wspólnej płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny przekroju. Zgodnie z tym założeniem punkt O_z - przyłożenia wypadkowej Z sił rozciągających w zbrojeniu strefy rozciąganej, punkt O_D - przyłożenia wypadkowej D całkowitych sił ściskających w strefie ści-

skanej: w betonie D_b i w zbrojeniu ściskającym D_z oraz punkt O_N - przyłożenia siły niszczącej N_n , leżą na wspólnej prostej $\beta - \beta$ (rys.1)

2.5. W przekroju żelbetowym obciążonym ukośnie mimośrodkowo, oś obojętna określona wg metody odkształceń plastycznych (OP) zajmuje położenie w przybliżeniu równoległe do osi obojętnej określonej wg metody naprężeń liniowych (NL).



Rys. 1

3. Równania podstawowe

Dla zadanego prostokątnego przekroju żelbetowego (o znanych wymiarach b i h , marce betonu R_v oraz znanym uzbrojeniu rozgraniczonym na część rozciąganą o przekroju F_z i część ścisną o przekroju F_z'), obciążonego w geometrycznym środku ciężkości betonu O podłużnie działającą siłą N oraz równocześnie momentami M_x i M_y w kierunkach dwóch głównych osi X_0 , Y_0 (rys. 1), można w sposób jednoznaczny wyznaczyć nośność przekroju N_n oraz w dalszej kolejności współczynnik pewności s .

W celu ustalenia wartości siły niszczonej N_n (równej nośności przekroju) działającej na mimośrodach $e_x^0 = M_y / N$ oraz $e_y^0 = M_x / N$ względem osi głównych przekroju betonu X_0 , Y_0 (rys. 1), należy wpieryw określić kształt i wymiary strefy ścisanej betonu wykorzystując równanie równowagi momentów względem punktu O_N :

$$Z e - D t = 0 \quad (1)$$

przy czym
$$D = D_b + D_z \quad (1a)$$

lub dokładniej
$$F_z Q_r e - (F_b R_m + F_z' Q_r') t = 0 \quad (2)$$

gdzie:

e - mimośród zewnętrznej siły niszczonej N_n (także siły N) względem środka ciężkości zbrojenia rozciąganego F_z , tj. odległość punktu O_N od punktu O_z ,

t - odległość punktu O_N od punktu O_D - przyłożenia wypadkowej D sił ścisających: w betonie D_b i w zbrojeniu ściskanym D_z (rys. 1).

Strefa ścisana w przekroju prostokątnym może przybierać kształty pokazane na rys. 2.

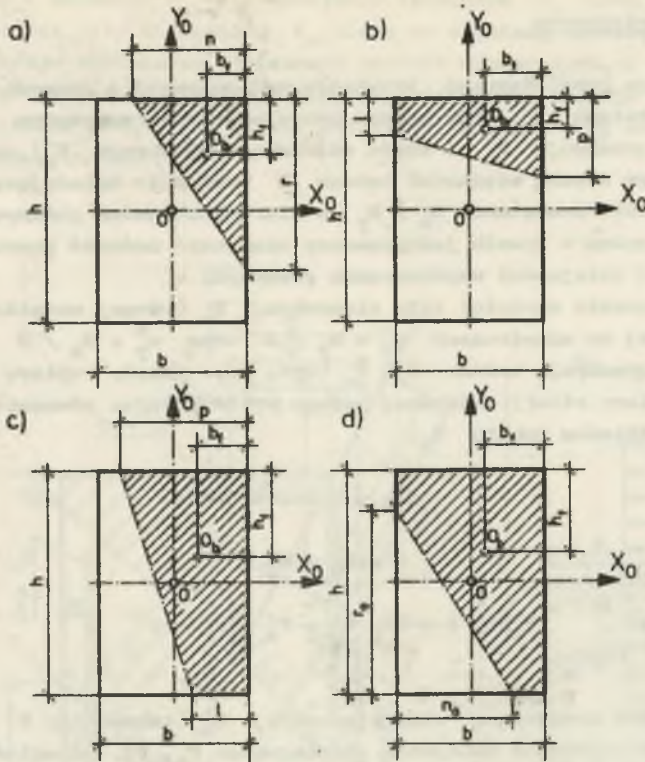
Wymiary boków strefy ścisanej trójkątnej wg rys. 2a wynoszą odpowiednio: $n = 3 b_f$ oraz $r = 3 h_f$.

Wymiary boków równoległych strefy ścisanej trapezowej wg rys. 2b wynoszą odpowiednio:

$$p = \frac{2 h^2 h_f - 3 h b_f h_f}{h^2 - 3 h b_f + 3 b_f^2} \quad (3)$$

$$l = \frac{h h_f + (2 b_f - h) p}{h - b_f} \quad (4)$$

W celu określenia wymiarów boków równoległych strefy trapezowej wg rysunku 2c wystarczy we wzorach (3) i (4) podstawić zamiast h_f wielkość b_f oraz zamiast b_f wielkość h_f .



Rys. 2

Wymiary boków strefy pięciokątnej wg rys. 2d, jako funkcje wielkości b_1 i h_1 , najprościej określa się metodą prób.

Wpływ smukłości elementu posiadającego ustaloną długość l_0 należy uwzględnić wówczas, gdy smukłości poszczególnych kierunków $\lambda_x = l_0/b$ oraz $\lambda_y = l_0/h$ są większe od 10. Wpływ ten uwzględnia się poprzez odpowiednie powiększenie wartości mimośrodków e_x^0 i e_y^0 . W tym celu zakłada się szacunkowo wartość współczynnika pewności s i oblicza:

$$n_1 = \frac{s N}{F_b^0 R_m} ; \quad m_x = \frac{1}{1 - \frac{n_1}{400} \lambda_x^2} \quad \text{oraz} \quad m_y = \frac{1}{1 - \frac{n_1}{400} \lambda_y^2} \quad (5)$$

gdzie:

F_b^0 - pole całego przekroju betonu.

Poprawione wartości mimośrodków oblicza się analogicznie jak np. w 2

$$e_{xm}^0 = e_x^0 m_x \quad \text{i} \quad e_{ym}^0 = e_y^0 m_y \quad (6)$$

Dla kierunków, które posiadają smukłości $\lambda_x \leq 10$ lub $\lambda_y \leq 10$ (względnie równocześnie $\lambda_x \leq 10$ i $\lambda_y \leq 10$), współczynniki poprawkowe wynoszą odpowiednio: $m_x = 1,0$ lub $m_y = 1,0$ (względnie równocześnie $m_x = m_y = 1,0$).

Uwaga: Jeżeli obliczona niniejszą metodą rzeczywista wartość współczynnika pewności s różni się dość znacząco od założonej szacunkowo we wzorach (5), należy ponownie oszacować wartość s i obciążenia powtórzyć.

W dalszym ciągu z równania (2) można obliczyć pole powierzchni strefy ściskanej betonu F_b i następnie, w oparciu o równanie równowagi sił w przekroju, wartość siły niszczonej:

$$N_n = D - Z \quad (7)$$

lub dokładniej

$$N_n = (F_b R_m + F'_z Q'_r) - F_z Q_r \quad (8)$$

oraz współczynnik pewności

$$s = \frac{N_n}{N} \geq s_n \quad (9)$$

W niniejszym opracowaniu wzięto pod uwagę jedynie takie przypadki, dla których spełniony jest warunek:

$$S_b \leq 0,8 S_o \quad (10)$$

gdzie:

$S_b = F_b v$ - moment statyczny przekroju strefy ściskanej betonu o powierzchni F_b względem prostej $\zeta - \zeta$ przechodzącej przez środek ciężkości zbrojenia rozciąganego O_z równoległe do osi obojętnej $\xi - \xi$ (założenie równoległości prostej $\zeta - \zeta$ do osi obojętnej przyjęto w oparciu o badania radzieckie, zgodnie z [7]),

$S_o = F w$ - moment statyczny przekroju betonu o powierzchni F , znajdującego się powyżej prostej $\zeta - \zeta$ (po stronie siły N_n) obliczony także względem prostej $\zeta - \zeta$,

v i w - odpowiednio, odległości środków ciężkości ww. przekrojów o powierzchniach F_b i F (odległość punktów O_b i O_F) od prostej $\zeta - \zeta$ (rys. 1).

Są to przypadki dużego mimośrodu, przy czym punkt O_n - przyłożenia zewnętrznej siły niszczonej N_n (także siły N), znajduje się zawsze w dodatniej ćwiartce układu współrzędnych X_o, Y_o .

Graniczne położenie osi obojętnej w przekroju żelbetowym ukośnie mimośrodowo ściskanym przyjmuje się, zgodnie z zależnością (10), że występu-

Je przy $S_b = 0,8 S_0$ i stanowi rozgraniczenie przypadku dużego mimośrodowego od przypadku małego mimośrodowego. Sposób postępowania w przypadku małego mimośrodowego, który występuje przy $S_b > 0,8 S_0$, zostanie przedstawiony w oddzielnym opracowaniu.

W przypadku dużego mimośrodowego, gdy oś obojętna wydzieli strefę ścisłą o małej powierzchni F_b , co może zaistnieć wtedy, gdy $0 < S_b \leq 0,1 S_0$, nośność przekroju należy wyznaczać z równania równowagi momentów względem rzutu punktu O'_z na prostą obciążenia $\beta - \beta$ (rys. 3)

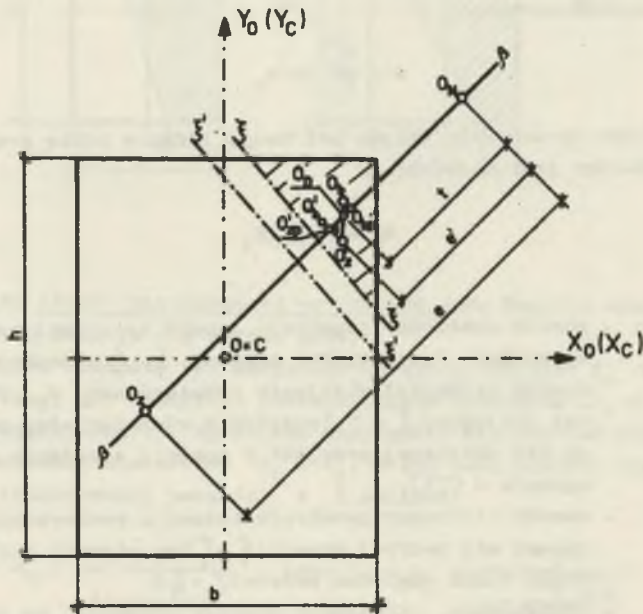
$$Z(e - e') = N_n e' \quad (11)$$

stąd

$$N_n = \frac{e - e'}{e'} Z = \left(\frac{e}{e'} - 1 \right) F_n Q_r \quad (12)$$

gdzie:

e' - odległość rzutu środka ciężkości zbrojenia ścisłego O'_z na prostą $\beta - \beta$ od punktu O_n (rys. 3).



Rys. 3

4. Opis metody

Z uwagi na to, że szeregółowy opis metody zamieszczono już w [1], w niniejszym opracowaniu podaje się jedynie opis taku postępowania przy wyznaczaniu nośności szadanego prostokątnego przekroju żelbetowego, odniesiony do konkretnego przykładu liczbowego.

Przedmiotem rozważać jest tu przekrój żelbetowy prostokątny, który wraz z rozmieszczeniem zbrojenia - 9 sztuk ϕ 30 oraz 2 sztuki ϕ 16 - wykreślony w skali, przedstawiono na rys. 4.

Dane liczbowe dla przekroju wg rys. 4 są następujące:

$b = 40$ cm, $h = 50$ cm, $a_b = a_h = a'_b = a'_h = 4$ cm, $N = 50$ T, $M_x = 10$ Tm, $M_y = 16,5$ Tm, $R_x = 200$ kG/cm², $R_m = 180$ kG/cm², $E_b = 180\,000$ kG/cm², $Q_x = Q'_x = 2500$ kG/cm², $E_z = 2\,100\,000$ kG/cm², $l_o = \psi L = 3,9$ m, pole przekroju 1 wkładki ϕ 16 wynosi $f_z = 2,01$ cm², pole 1 wkładki ϕ 30 wynosi $f_z = 7,07$ cm².

Tok postępowania przy wyznaczaniu nośności N_u oraz współczynnika pewności s , jest następujący:

4.1. Obliczamy mimośrodę siły N :

$$e_x^o = \frac{1\,650\,000}{50\,000} = 33 \text{ cm} \quad \text{oraz} \quad e_y^o = \frac{1\,000\,000}{50\,000} = 20 \text{ cm}$$

4.2. Sprawdzamy smukłość elementu prostokątnego:

$$\lambda_x = \frac{l_o}{b} = \frac{390}{40} = 9,75 < 10 \quad \text{oraz} \quad \lambda_y = \frac{l_o}{h} = \frac{390}{50} = 7,8 < 10$$

Zgodnie z p.3, współczynniki poprawkowe wynoszą tu: $m_x = m_y = 1,0$ oraz poprawione wartości mimośrodów: $e_{xm}^o = e_x^o = 33$ cm i $e_{ym}^o = e_y^o = 20$ cm. Wartości te nanosimy na rysunek przekroju uwzględniając jego skalę (rys. 4).

4.3. Obliczamy współrzędne środka ciężkości C przekroju idealnego $F_1 = F_b^o + n F_z^o$, przy pracy przekroju w fazie I (wg klasycznej teorii NL): Wielkość F_b^o oznacza pole całego przekroju betonu oraz wielkość F_z^o - pole przekroju wszystkich wkładek zbrojeniowych.

Współczynnik uwzględniający współpracę betonu i stali wynosi $n = E_z/E_b$, przy czym E_b jest tu współczynnikiem sprężystości betonu przy zginaniu.

$$n = \frac{E_z}{E_b} = \frac{2\,100\,000}{180\,000} = 11,67.$$

$$\Delta x_o = \frac{40}{2} - \frac{50 \cdot 50 \cdot 20 + 11,67 (2 \cdot 7,07 \cdot 4 + 1 \cdot 2,01 \cdot 4 + 3 \cdot 7,07 \cdot 20 + 4 \cdot 7,07 \cdot 20 + 1 \cdot 2,01 \cdot 36)}{40 \cdot 50 + 11,67 (9 \cdot 7,07 + 2 \cdot 2,01)} = 0,9 \text{ cm}$$

$$\Delta y_o = \frac{50}{2} - \frac{40 \cdot 50 \cdot 25 + 11,67 (4 \cdot 7,07 \cdot 4 + 2 \cdot 2,01 \cdot 25 + 2 \cdot 7,07 \cdot 25 + 3 \cdot 7,07 \cdot 46)}{40 \cdot 50 + 11,67 (9 \cdot 7,07 + 2 \cdot 2,01)} = 0,6 \text{ cm}.$$

Uwaga: W większości przypadków prostokątnych przekrojów żelbetowych posiadających zbrojenie rozmieszczone równomiernie na całym obwodzie, środek ciężkości C - przekroju idealnego znajduje się bardzo blisko środka ciężkości O - przekroju betonu. Dlatego też w tych przypadkach, gdy przesunięcia osi X_0, Y_0 względem osi X_0, Y_0 nie przekraczają wartości $0,03 b$ lub $0,03 h$ można - bez obawy popełnienia większego błędu w określeniu kierunku $\gamma - \gamma$ przyjąć, że osie X_0, Y_0 pokrywają się z osiami X_0, Y_0 (rys. 1 i 4).

W rozpatrywanym przykładzie $\Delta x_0 = 0,9 \text{ cm} < 0,03 b = 0,03 \cdot 40 = 1,2 \text{ cm}$ oraz $\Delta y_0 = 0,6 \text{ cm} < 0,03 h = 0,03 \cdot 50 = 1,5 \text{ cm}$, przyjmujemy więc, że środek C pokrywa się ze środkiem O (tzn. osie X_0, Y_0 pokrywają się z osiami X_0, Y_0 (rys. 4)).

4.4. Obliczamy momenty bezwładności przekroju idealnego względem osi X_0, Y_0 :

$$I_x^0 = \frac{1}{12} \cdot 40 \cdot 50^3 + 11,67 (4 \cdot 7,07 \cdot 21^2 + 2 \cdot 7,07 \cdot 10,5^2 + 3 \cdot 7,07 \cdot 21^2) = \\ = 689 \ 500 \text{ cm}^4$$

$$I_y^0 = \frac{1}{12} \cdot 50 \cdot 40^3 + 11,67 (4 \cdot 7,07 \cdot 16^2 + 2 \cdot 2,01 \cdot 16^2 + 2 \cdot 7,07 \cdot 5,3^2 + \\ + 2 \cdot 7,07 \cdot 16^2) = 409 \ 300 \text{ cm}^4.$$

Moment dewiacji w niniejszym przykładzie $I_{xy}^0 = 0$, ponieważ zgodnie z p.4.3 i rys. 4, osie X_0, Y_0 są tu jednocześnie głównymi osiami bezwładności całego prostokątnego przekroju żelbetowego.

4.5. W oparciu o konstrukcję koła bezwładności Mohra (przedstawioną np. w [3] i [4]), wyznaczamy wykreślnie na rysunku przekroju (rys. 4) położenie osi bezwładności $\gamma - \gamma$ dla przekroju idealnego.

4.6. Dzielimy większą oścę powierzchni przekroju betonu - od strony siły N (punkt O_N) - na wąskie paski o szerokości 5 cm równoległe do kierunku $\gamma - \gamma$, obliczamy ich powierzchnie:

$$f_{b1} = 41,8 \text{ cm}^2, \quad f_{b3} = 121,2 \text{ cm}^2, \quad f_{b5} = 200,2 \text{ cm}^2, \quad f_{b6} = 260,9 \text{ cm}^2, \\ f_{b9} = f_{b10} = f_{b12} = 256,0 \text{ cm}^2.$$

oraz w dalszym ciągu siły powierzchniowe:

$$P_{b1} = f_{b1} R_m = 41,8 \cdot 180 = 7 \ 530 \text{ kG},$$

$$P_{b3} = f_{b3} R_m = 121,2 \cdot 180 = 21 \ 800 \text{ kG},$$

$$P_{b5} = f_{b5} R_m = 200,2 \cdot 180 = 36 \ 050 \text{ kG},$$

$$P_{b6} = f_{b6} R_m = 260,9 \cdot 180 = 47\ 000 \text{ kG},$$

$$P_{b9} = P_{b10} = P_{b12} = f_{b9} R_m = 265,0 \cdot 180 = 47\ 650 \text{ kG},$$

$$P_{z2} = P_{z7} = P_{z8} = P_{z11} = P_{z13} = P_{z14} = P_{z15} = P_{z17} = P_{z18} = f_{z2} Q_r = \\ = 7,07 \cdot 2500 = 17\ 680 \text{ kG},$$

$$P_{z4} = P_{z16} = f_{z4} Q_r = 2,01 \cdot 2\ 500 = 5\ 030 \text{ kG}.$$

Uwaga: Kolejną numerację sił powierzchniowych należy rozpoczynać od paska lub pręta zbrojeniowego położonego najbliżej siły N (punktu O_N).

4.7. Wykreślamy równocześnie wieloboki sznurowe I i II w sposób pokazany na rys. 4. Wykreślanie tych wieloboków przerywamy wówczas, gdy natrafimy na parę takich boków, których przedłużenia $B_{II} - B_I$ i $B_{III} - B_{II}$ przecinają się w punkcie O_E leżącym na lub bardzo blisko prostej $E - E$, przechodzącej przez punkt O_N równoległe do prostej $\gamma - \gamma$ (rysunek 4).

Kierunek wypadkowej ciśnień D znajduje się na przecięciu prostej $B_I - B_I$ z prostą $A - A$. Kierunek wypadkowej odciągnięć Z znajduje się na przecięciu prostej $B_{II} - B_{II}$ z prostą $A - A$. Oba te kierunki są równoległe do kierunku $\gamma - \gamma$ (rys. 4).

Konstrukcję pokazaną na rys. 4 oparto na znanych ze statyki wykreślnej zależnościach dotyczących momentów statycznych grupy sił równoległych względem zadanego punktu (zależności te przedstawiono np. w [8] i [9]).

Zgodnie z nimi, wg rys. 4, można zapisać:

$$Z r_{II} = H_{II} q_{II} = H q \quad \text{ i } \quad D r_I = H_I q_I = H q$$

oraz warunek równowagi momentów odpowiadający równaniu (1):

$$Z r_{II} - D r_I = H q - H q = 0.$$

Poszukiwane położenie $\xi_1 - \xi_1$ osi obojętnej stanowi ograniczenie ostatniego spośród pasków strefy ściskanej betonu, ustalonego na podstawie wieloboku sznurowego I. W niniejszym przykładzie ostatnim w strefie ściskanej jest pasek nr 9 (rys. 4).

Prosta $\xi_1 - \xi_1$ rozgranicza całe zbrojenie w przekroju na część ściskaną F_z' i rozciąganą F_z oraz wyznacza trapezowy kształt strefy ściskanej wg rys. 2c.

4.8. Graficznie znajdujemy położenia środków ciężkości: O_z zbrojenia rozciąganego i O_z' - zbrojenia ściskanego, po czym przez punkty O_z i O_N - miejsce przyłożenia siły niszczącej N_n - prowadzimy prostą obciąż-

zeń $\beta - \beta$ i następnie przedłużamy kierunek siły D do przecięcia z prostą $\beta - \beta$, otrzymując w ten sposób punkt O_D - przyłożenia wypadkowej ośniew w przekroju (rys. 4).

W niniejszym przykładzie prosta $\beta - \beta$ pokrywa się z prostą $\alpha - \alpha$, łączącą punkty O_N i C (por. rys. 2 w [1]). Jest to więc przypadek szczególny.

- 4.9. Korygujemy położenie $\xi_1 - \xi_1$ osi obojętnej wykreślając wielobok sznurowy III, dzięki któremu - w oparciu o znane położenia punktów O_D i O'_D - znajdujemy położenie punktu O_b - przyłożenia wypadkowej sił ścisłaskających w betonie strefy ścisłaskanej.

Odcytujemy z rysunku (rys. 4) współrzędne punktu O_b , które wynoszą: $b_f = 10,4$ cm oraz $h_f = 19,2$ cm i następnie dla trapezowej strefy ścisłaskanej jak na rys. 2e obliczamy wymiary boków równoległych:

$$p = \frac{2h^2 b_f - 3hb_f h_f}{h^2 - 3hb_f + 3h_f^2} = \frac{2 \cdot 50^2 \cdot 10,4 - 3 \cdot 50 \cdot 10,4 \cdot 19,2}{50^2 - 3 \cdot 50 \cdot 19,2 + 3 \cdot 19,2^2} = 30,3 \text{ cm}$$

$$l = \frac{hb_f + (2h_f - h)p}{h - h_f} = \frac{50 \cdot 10,4 + (2 \cdot 19,2 - 50) \cdot 30,3}{50 - 19,2} = 5,5 \text{ cm.}$$

Obliczone wartości p i l odkładamy na rysunku przekroju (rys. 4) otrzymując w ten sposób skorygowane położenie $\xi - \xi$ osi obojętnej.

- 4.10. Obliczamy pole powierzchni strefy ścisłaskanej betonu $F_b = 0,5(p+l)h = 0,5 \cdot (30,3 + 5,5) \cdot 50 = 895 \text{ cm}^2$.

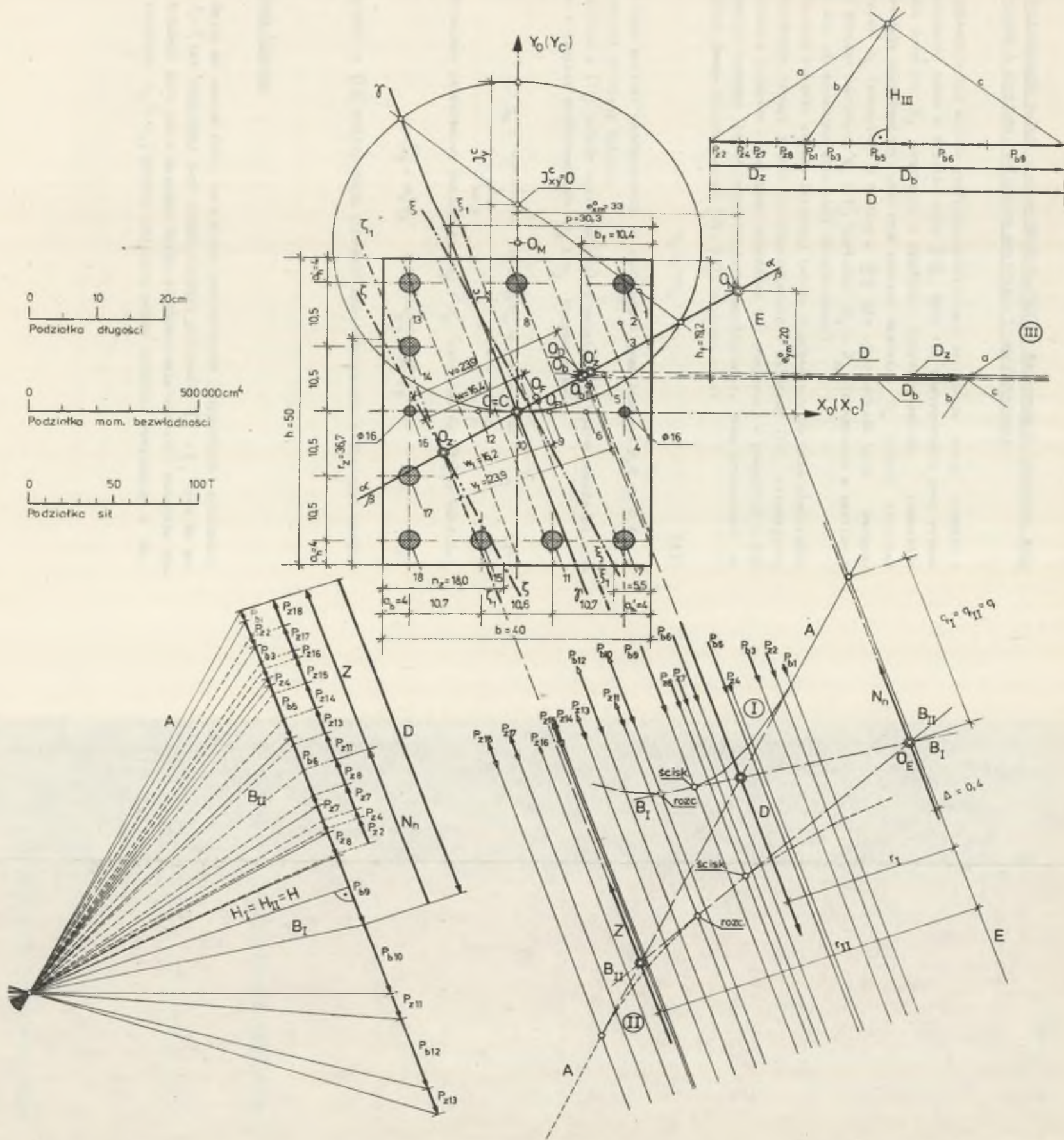
Następnie przez punkt O_b kreślimy prostą $\zeta - \zeta$ równoległą do osi obojętnej $\xi - \xi$. Prosta $\zeta - \zeta$ odcina na rysunku przekroju (rys. 4) pięciokątą strefę betonu o powierzchni $F = bh - 0,5 n_s r_s = 40 \cdot 50 - 0,5 \cdot 18 \cdot 36,7 = 1670 \text{ cm}^2$. Położenie środka ciężkości O_p tejże strefy znajdujemy na rysunku przekroju graficznie (rys. 4).

- 4.11. Odcytujemy z rysunku przekroju (rys. 4) wartości $v = 23,9$ cm i $w = 16,4$ cm, obliczamy $S_b = F_b v = 895 \cdot 23,9 = 21400 \text{ cm}^3$ i $S_o = F w = 1670 \cdot 16,4 = 27400 \text{ cm}^3$ a następnie sprawdzamy

$$S_b = 21400 \text{ cm}^3 < 0,8 S_o = 0,8 \cdot 27400 = 21950 \text{ cm}^3.$$

Powyższa nierówność, zgodnie z (10), świadczy o istnieniu przypadku drugiego mimośrod. Wobec tego odcytujemy z wieloboku sił (rys. 4) wartość poszukiwanej siły niszczonej (nośności przekroju) $N_n = 106600 \text{ kG}$ i wg (9) obliczamy współczynnik pękności:

$$\mu = \frac{N_n}{N} = \frac{106600}{50000} = 2,13 = \text{ok. } 2,1$$



Rys. 4

5. Konfrontacja metody z normą PN-76/B-03264 - Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie

Opisana wyżej metoda graficzno-analityczna zachowuje swoją ważność i przydatność także w świetle normy [13]. Cały tok postępowania przy wyznaczaniu nośności N_n przekroju, w oparciu o powyższą metodę, pozostaje w zasadzie niezmienny, przy czym zamiast wartości R_m należy stosować wartości R_b (odczytane z tablicy w [13] dla odpowiednich klas betonu) oraz zamiast wartości Q_r i Q'_r , wartości R_a i R_{ac} (odczytane z tablicy w [13] dla odpowiednich klas stali zbrojeniowej).

Złożony kształt strefy ściskanej betonu w przekroju ukośnie mimośrodowo ściskanym wymaga jednak - w przeciwieństwie do normy [13], zalecającej operowanie pojęciem granicznego położenia osi obojętnej w przekroju - podtrzymania warunku (10) w formie bardziej uogólnionej, jaką proponował na przykład dawny projekt normy [11], [12], a mianowicie:

$$S_b \leq \nu S_o \quad (13)$$

przy czym wartość współczynnika ν waha się w granicach od 0,8 do 0,6 w zależności od klasy betonu.

Zgodnie z [13] należy także dokładniej uwzględnić wpływ smukłości elementu i zamiast współczynników m_x i m_y stosować nowe:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{S_{kr,x}}} \quad \text{oraz} \quad \eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{S_{kr,y}}} \quad (14)$$

zwiększające mimośrodowy początkowe e_x^o i e_y^o , ustalone wg [13] do wartości

$$e_{x\eta}^o = e_x^o \eta_x \quad \text{oraz} \quad e_{y\eta}^o = e_y^o \eta_y \quad (15)$$

Zgodnie z [13] należy także stosować nowe oznaczenia niektórych wielkości.

6. Uwagi końcowe

6.1. Mając na uwadze fakt, że w wielu praktycznych przypadkach położenie $\xi - \xi$ osi obojętnej jest bardzo bliskie położeniu $\xi_1 - \xi_1$, oraz, że potrzebne jest ono w zasadzie tylko do określenia wartości momentów statycznych S_b i S_o , metodę niniejszą można uprościć rezygnując z bu,

dowy wieloboku sił i wieloboku sznurowego III, a poprzestając jedynie na wyznaczeniu położenia $\xi_1 - \xi_1$ osi obojętnej.

Upraszczając metodę, wystarczy więc określić - najlepiej sposobem graficznym - pole powierzchni F_{b1} i środek ciężkości O_{b1} strefy ścisanej betonu wyznaczonej w przekroju przez prostą $\xi_1 - \xi_1$ i następnie, po wykreśleniu prostej $\zeta_1 - \zeta_1$ przechodzącej przez punkt O_z równoległe do prostej $\xi_1 - \xi_1$, określić wartości: $F_1, v_1, w_1, S_{b1}, S_{o1}$ analogicznie jak wartości: F, v, w, S_b, S_o , określone dla osi obojętnej $\xi - \xi$ i równoległej do niej prostej $\zeta - \zeta$ (por. rys. 4).

Proponowane uproszczenie nie powoduje istotnych dla praktycznych obliczeń błędów w wyznaczaniu wielkości S_b i S_o - które służą w zasadzie tylko do określenia przypadku mimośrodowego ściskania - i nie wpływa w ogóle na wartość wyznaczanej niniejszą metodą nośności przekroju N_n .

Po zastosowaniu takiego uproszczenia w rozpatrywanym w p. 4 przykładzie otrzymano następujące wartości:

$v_1 = 23,9$ cm, $w_1 = 16,2$ cm, $S_{b1} = F_{b1} v_1 = 893 \cdot 23,9 = 21\ 350$ cm³, oraz $S_{o1} = F_1 w_1 = 1\ 667 \cdot 16,2 = 27\ 000$ cm³. Wartości te - w porównaniu z wartościami wyznaczonymi z uwzględnieniem prostych $\xi - \xi$ i $\zeta - \zeta$: $S_b = 21\ 400$ cm³ i $S_o = 27\ 400$ cm³ - obarczone są błędami wynoszącymi odpowiednio: - 0,23% oraz - 1,46%, a więc nie mającymi większego znaczenia dla praktycznych obliczeń. Fakt ten potwierdza celowość stosowania uproszczenia niniejszej metody.

- 6.2. W przedstawionym w p. 4 przykładzie liczbowym położenie punktu O_E (rysunek 4) wyznaczone z błędem $\Delta = 0,4$ cm (ok. 1,0%). Błąd ten, mieszczący się w granicach dopuszczalnych ($\pm 2,5\%$), można jeszcze bardziej zmniejszyć dzieląc dodatkowo paski betonu nr 9 i nr 10 na mniejsze części i korygując odpowiednio wielobok sił I i odpowiadający mu wielobok sznurowy.
- 6.3. Przekrój żelbetowy rozpatrywany w niniejszym przykładzie został uprzednio zaprojektowany w [5] przy współczynniku pewności $s = 2,0$, przy czym ostatecznie przyjęto ilość zbrojenia F_z i F'_z , większą od wartości obliczonych. Współczynnik pewności dla tego samego przekroju, obliczony wg wzoru zalecanego przez normę [6] wynosi tylko $s = 1,57 =$ ok. 1,6.
- 6.4. Przedstawiona metoda może mieć także zastosowanie w odniesieniu do przekroju prostokątnego ukośnie mimośrodowo rozciąganego. Cały tok postępowania przy wyznaczaniu nośności N_n takiego przekroju pozostaje niezmienny, przy czym siła N_n posiada zwrot przeciwny i jest położona w przeciwnej, aniżeli na rys. 1 i 4, stronie przekroju (od strony strefy rozciąganej). Ponadto, zamiast zależności (10), zaleśną strefy ścisanej ogranicza tu trochę inny warunek:

$$S_b \leq 0,7 S_o$$

6.5. W niniejszym opracowaniu przyjęto w oparciu o badania radzieckie [7], że graniczne położenie osi obojętnej ma miejsce wtedy, gdy $S_b = 0,8 S_0$. Słuszność takiego założenia potwierdziły także dalsze badania przeprowadzone w Związku Radzieckim na przekrojach ukośnie mimośrodowo ściskanych. Wnioski z tych badań przedstawiono np. w [10].

LITERATURA

- [1] Małek E.: Graficzno-analityczny sposób wyznaczania nośności dowolnych przekrojów żelbetowych ukośnie mimośrodowo ściskanych w przypadku dużego mimośrodu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Zeszyt Nr 35, Gliwice 1975.
- [2] Owieczkin A.M., Chliebnoj J.F. (i drugi): Primiery rascziota żeliezobietonnych konstrukcij. Izdat. Wysszaja Szkoła, Moskwa, 1968.
- [3] Orłowski W., Słowański L.: Wytrzymałość materiałów. Przykłady obliczeń. Arkady, Warszawa, 1966.
- [4] Schreyer: Praktische baustatik. Teil 1 und 2. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1954.
- [5] Winokur A., Zalewski W.: Tablice do wymiarowania żelbetu. B i A, Warszawa 1956.
- [6] PN-56/B-03260 - Konstrukcje żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [7] Torjanik M.S., Sierdjuk L.I.: O powierkie dostatočnoj procznosti szatoj zony betona kosoizgibajemych żeliezobietonnych elementow. Stroitel'stvo i Architektura, Nowosibirsk, Nr 11, 1967.
- [8] Huber M.T.: Mechanika ogólna i techniczna. PWN, Warszawa 1956.
- [9] Wierzbicki W.: Wstęp do mechaniki budowli. PWN, Warszawa 1959.
- [10] Wachnienko P.F., Rydienko J.M., Torjanik M.S.: Eksperimental'no-teoreticzeskie issledowanija procznosti kosozimajemych żeliezobietonnych elementow. Stroitel'stvo i Architektura, Nowosibirsk, Nr 2, 1970.
- [11] Projekt normy PN/B-03264 - Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [12] Instrukcja stosowania i przykłady obliczeń do projektu normy PN/B-03264 - Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie. Warszawa 1970.
- 13 PN-76/B-03264 - Konstrukcje betonowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.

ГРАФИКО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОСОСЖИМАЕМЫХ ЖЕЛЕЗО-БЕТОННЫХ СЕЧЕНИЙ В СЛУЧАЕ БОЛЬШОГО ЭКСЦЕНТРИЦИТЕТА

R e z y m e

В статье представлено метод позволяющий определить несущую способность для заданного прямоугольного железобетонного сечения с учётом действительного распределения сил в сечении.

Метод сопоставления с новой польской нормой PN-76/B-03264 и проиллюстрирован численным примером

GRAPHICALLY-ANALYTICAL METHOD OF DETERMINING THE ULTIMATE
BEARING CAPACITY FOR RECTANGULAR REINFORCED CONCRETE SECTIONS
WORKING AS ECCENTRIC COMPRESSED IN TWO DIRECTIONS IN CASE
OF LARGE ECCENTER

S u m m a r y

In the article the method allowing to determine the ultimate bearing capacity for given rectangular reinforced concrete section with taking into consideration real force distribution in the section is presented.

The method is confronted with the new Polish Standard Specification PN-76/B-03264 and there is given a numerical example for the illustration of presented method.