

Edward Małek

## GRAFICZNO-ANALITYCZNY SPOŚÓB WYZNACZANIA NOŚNOŚCI DOWOLNYCH PRZEKROJÓW ŹELBETOWYCH UKOŚNIE MIMOŚRODOWO ŚCISKANYCH W PRZYPADKU DUŻEGO MIMOŚRODU

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono metodę pozwalającą na wyznaczenie nośności zadanego przekroju żelbetowego z uwzględnieniem rzeczywistego rozkładu sił w przekroju. W opracowaniu odpowiednio wykorzystano znane zależności ze statyki wykreślnej dotyczące wieloboków sił i odpowiadających im wieloboków sźnurowych.

### 1. Wstep

Zagadnieniem wyznaczania nośności przekrojów żelbetowych ukośnie mimośrodkowo ściskanych zajmowano się już w pracach [1] ÷ [15].

W opracowaniach tych, za wyjątkiem [7], przedstawiono sposoby dotyczące wyznaczania nośności przekroju żelbetowego w trakcie jego projektowania to znaczy w przypadku, gdy istnieje możliwość dowolnego "operowania" zbrojeniem w przekroju. Większość z tych metod bazuje w dodatku na bardzo przybliżonych założeniach. Z wymienionych metod najbardziej dokładną okazuje się, stosunkowo prosta w praktycznym zastosowaniu, metoda Winokura - Zalewskiego, opracowana w formie tablic w [6], dotycząca przekrojów żelbetowych prostokątnych.

W praktyce, dość często występuje zagadnienie odwrotne - konieczność wyznaczania nośności dla zadanego przekroju żelbetowego ukośnie mimośrodkowo ściskanego. Stosuje się wtedy najczęściej metodę zalecaną przez normę [16], opartą na następującej przybliżonej zależności:

$$\frac{1}{s_x} + \frac{1}{s_y} - \frac{1}{s_0} = \frac{1}{s} \leq \frac{1}{s_n}, \quad (1)$$

gdzie:  $s_x$ ,  $s_y$ ,  $s_0$ ,  $s$  - współczynniki bezpieczeństwa zdefiniowane w normie [16],

$s_n$  - współczynnik pewności wymagany normą [16].

Współczynnik pewności względnie nośność przekroju, wyznaczone w oparciu o zależność (1) - posiadają jednak znacznie zaniżone wartości, niezgodne ze stanem faktycznym.

Zachodzi więc potrzeba opracowania metody pozwalającej na wyznaczenie nośności zadanego przekroju żelbetowego ukośnie mimośrodkowo ściskanego, która uwzględniałaby rzeczywisty rozkład sił w przekroju.

Próbę opracowania takiej metody podjęto już częściowo w pracy [7]. W pracy tej przedstawiono graficzno-analityczną metodę wyznaczania nośności, wy-

magającą jednak całego szeregu prób i tym samym bardzo pracochłonną.

Mając powyższe na uwadze, w niniejszym artykule podjęto próbę opracowania w miarę nieskomplikowanej i jednocześnie stanowiącej teoretycznie zamkniętą całość metody graficzno-analitycznej, opartej na prostych operacjach graficznych znanych ze statyki wykreślnej.

## 2. Założenia ogólne

Opracowanie niniejsze oparto na następujących założeniach:

a. Zniszczenie przekroju następuje na skutek osiągnięcia przez zbrojenie rozciągane ( $F_x$ ) i ściskane ( $F_y$ ) granicy plastyczności  $Q_x$  i  $Q_y$  jednocześnie ze zniszczeniem betonu w strefie ściskanej.

b. Nie uwzględnia się współpracy betonu strefy rozciąganej przekroju.

c. Naprężenia w betonie strefy ściskanej przekroju, w chwili zniszczenia rozkładają się równomiernie, tworząc granlastosłup o wysokości  $R_m$  równej wartości wytrzymałości betonu na ściskanie przy zginaniu.

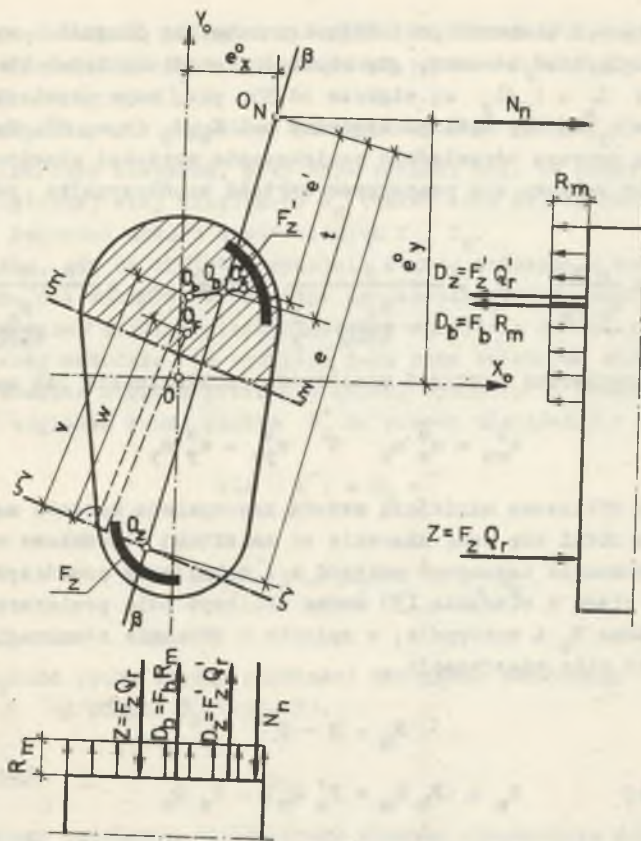
d. W chwili zniszczenia wypadkowe ciągnień  $Z$  i ciśnień  $D$  w przekroju oraz zewnętrzna mimośrodkowo działająca siła niszcząca  $N_n$ , znajdują się we wspólnej płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny przekroju. Zgodnie z tym założeniem punkt  $O_z$  - przyłożenia wypadkowej  $Z$  sił rozciągających w zbrojeniu strefy rozciąganej, punkt  $O_D$  - przyłożenia wypadkowej  $D$  całkowitych sił ściskających w strefie ściskanej: w betonie  $D_b$  i w zbrojeniu ściskanym  $D_z$  oraz punkt  $O_N$  - przyłożenia siły niszczącej  $N_n$ , leżą na wspólnej prostej  $\beta - \beta$  (rys. 1).

e. 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).

## 3. Równania podstawowe

Dla zadanego przekroju żelbetowego (o znanych wymiarach przekroju betonu, marce betonu  $R_m$  oraz znanym uzbrojeniu, rozgraniczonym na część rozciąganą o przekroju  $F_x$  i część ściskaną o przekroju  $F_y$ ), obciążonego w geometrycznym środku ciężkości betonu  $O$  podłużnie działającą siłą  $N$  oraz równocześnie momentami  $M_x$  i  $M_y$  w kierunku dwóch głównych osi  $X_o$ ,  $Y_o$  (rys. 1), można w sposób jednoznaczny wyznaczyć nośność przekroju  $N_n$  oraz w dalszej kolejności współczynnik pewności  $s$ .

W celu ustalenia wartości siły niszczącej  $N_n$  (równej nośności przekroju) działającej na mimośrodkach  $e_x^o = M_y / N$  oraz  $e_y^o = M_x / N$  względem osi głównych przekroju betonu  $X_o$ ,  $Y_o$  (rys. 1), należy w pierw określić kształt i wymiary strefy ściskanej betonu wykorzystując równanie równowagi momentów względem punktu  $O_N$ :



Rys. 1

$$Z e - D t = 0 \quad (2)$$

przy czym 
$$D = D_b + D_z \quad (2a)$$

lub dokładniej 
$$F_z Q_z e - (F_b R_m + F'_z Q'_z) t = 0, \quad (3)$$

gdzie:

- e - mimośród zewnętrznej siły niszczącej  $N_n$  (także siły N) względem środka ciężkości zbrojenia rozciąganego  $F_z$  t.j. odległość punktu  $O_N$  od punktu  $O_z$ ,
- t - odległość punktu  $O_N$  do punktu  $O_D$  - przyłożenia wypadkowej D sił ściskających: w betonie  $D_b$  i w zbrojeniu ściskanym  $D_z$  (rys. 1).



Wpływ smukłości elementu posiadającego ustaloną długość wybocheniową  $l_0$  należy uwzględnić wówczas, gdy smukłości poszczególnych kierunków  $\lambda_x = l_0/i_x$  oraz  $\lambda_y = l_0/i_y$  są większe od 35, przy czym promienie bezwładności  $i_x$  oraz  $i_y$  należy ustalać względem osi  $X_0, Y_0$  (rys. 1). 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:

$$n_1 = \frac{s N}{F_b^0 R_m}, \quad m_x = \frac{1}{1 - \frac{n_1}{4800} \lambda_y^2} \quad \text{oraz} \quad m_y = \frac{1}{1 - \frac{n_1}{4800} \lambda_x^2} \quad (4)$$

a następnie poprawione wartości mimośrodków (analogicznie jak np. w [13]):

$$e_{xm}^0 = e_x^0 m_x \quad \text{i} \quad e_{ym}^0 = e_y^0 m_y. \quad (5)$$

**Uwaga:** Jeżeli obliczona niniejszą metodą rzeczywista wartość współczynnika pewności  $s$  różni się dość znacznie od założonej szacunkowo we wzorach (4), należy ponownie oszacować wartość  $s$  i obliczenia powtórzyć.

W dalszym ciągu z równania (3) można obliczyć pole powierzchni strefy ściskanej betonu  $F_b$  i następnie, w oparciu o równanie równowagi sił w przekroju, wartość siły niszczącej:

$$N_n = D - Z \quad (6)$$

lub dokładniej

$$N_n = (F_b R_m + F_z' Q_z') - F_z Q_z \quad (7)$$

oraz współczynnik pewności

$$s = \frac{N_n}{N_n^0} \geq s_n. \quad (8)$$

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

$$S_b \leq \phi S_0, \quad (9)$$

gdzie:

$S_b = F_b \nu$  - moment statyczny przekroju strefy ściskanej betonu o powierzchni  $F_b$  względem prostej  $\xi - \xi$  przechodzącej przez środek ciężkości zbrojenia rozciąganego  $O_z$  równoległe do osi obrotowej  $\zeta - \zeta$  (założenie równoległości prostej  $\xi - \xi$  do osi obrotowej przyjęto w oparciu o badania radzieckie, zgodnie z [17],

$S_0 = F w$  - moment statyczny przekroju betonu o powierzchni  $F$ , znajdującego się powyżej prostej  $\xi - \xi$  (po stronie siły  $N_n$ ) obliczamy także względem prostej  $\xi - \xi$ ,

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

$\phi$  - współczynnik określony przez normę (np. wg [16]  $\phi = 0,8$ ).

Jest to t.zw. duży mimośród, przy czym zakłada się, że punkt  $O_N$  - przyłożenia zewnętrznej siły niszczonej  $N_N$  (także siły  $N$ ), znajduje się zawsze w dodatniej ćwiartce układu współrzędnych  $X_0, Y_0$ .

W przypadku, gdy os obojętna wydziela strefę ściskaną o małej powierzchni  $F_b$ , może się zdarzyć, że nastąpi zgniecenie betonu strefy ściskanej przed osiągnięciem granicy plastyczności w zbrojeniu ściskanym  $F'_z$ . Założono w niniejszej metodzie, że sytuacja taka może zaistnieć wtedy, gdy  $O < S_b \leq 0,1 S_0$ . Wówczas nośność przekroju należy wyznaczyć z równania równowagi momentów względem rzutu punktu  $O'_z$  na prostą obciążenia  $\beta - \beta$  (rys. 1):

$$Z(e - e') = N_N e' \quad (10)$$

stąd

$$N_N = \frac{e - e'}{e'} Z = \left( \frac{e}{e'} - 1 \right) F_x Q_x, \quad (11)$$

gdzie:

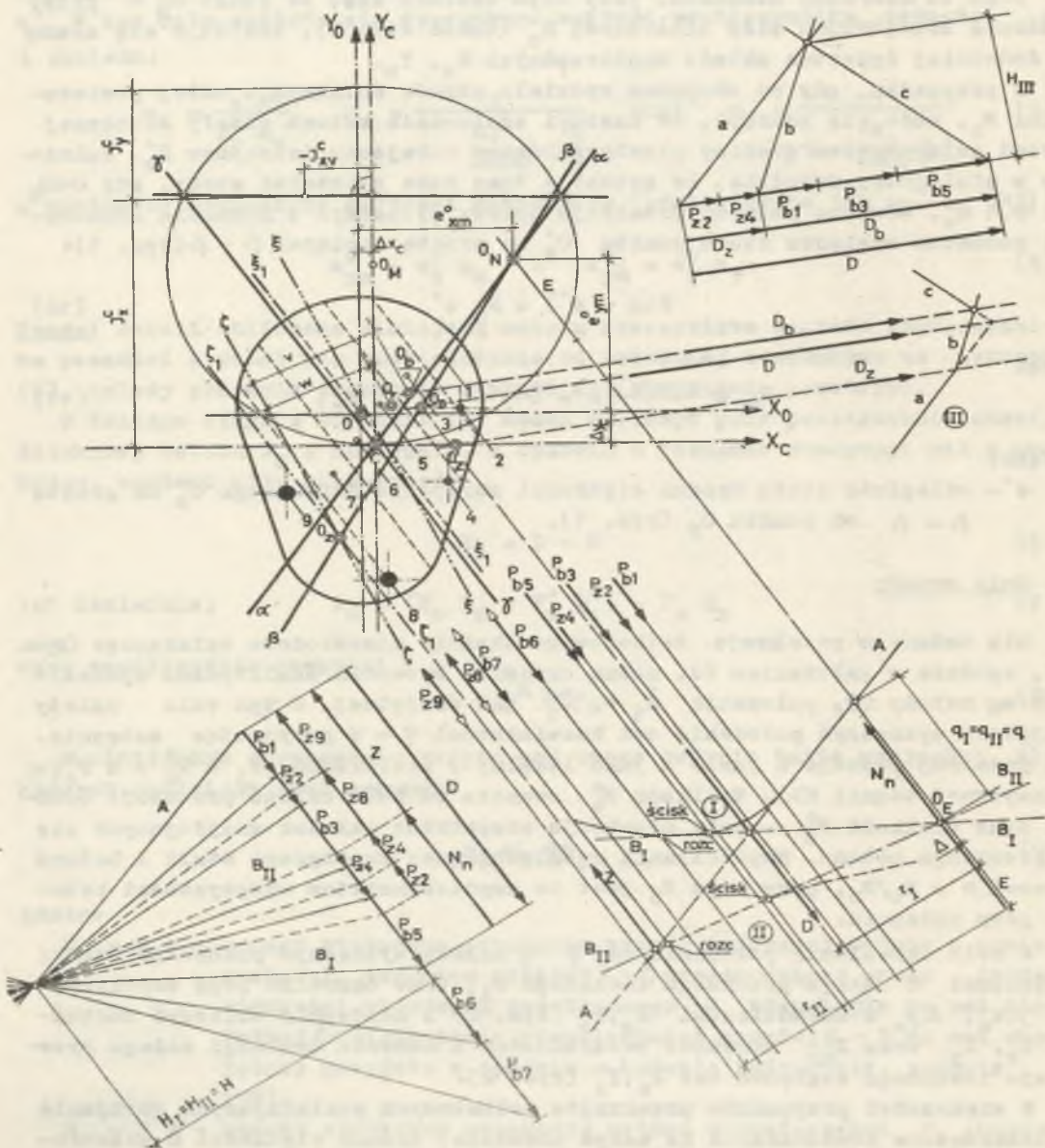
$e'$  - odległość rzutu środka ciężkości zbrojenia ściskanego  $O'_z$  na prostą  $\beta - \beta$  od punktu  $O_N$  (rys. 1).

#### 4. Opis metody

Dla zadanego przekroju żelbetowego ukośnie mimośrodowo ściskanego (rys. 2), zgodnie z założeniem 2e, można określić sposobem analitycznym wykreślonym wg metody OP, położenie  $\xi_1 - \xi_1$  osi obojętnej. W tym celu należy najpierw wyznaczyć położenie osi bezwładności  $\eta - \eta$  przyjmując wstępnie, że przekrój pracuje w fazie I jako idealny o powierzchni  $F_1 = F_b^0 + n F_z^0$  (wg klasycznej teorii NL). Wielkość  $F_b^0$  oznacza tu pole całego przekroju betonu oraz wielkość  $F_z^0$  - pole przekroju wszystkich wkładek znajdujących się w przekroju betonu. Współczynnik uwzględniający współpracę stali i betonu wynosi  $n = E_z/E_b$ , przy czym  $E_b$  jest tu współczynnikiem sprężystości betonu przy zginaniu.

W celu określenia położenia osi  $\eta - \eta$  należy wyznaczyć położenie środka ciężkości C całego przekroju idealnego  $F_1$ , tzn. określić jego współrzędne  $\Delta x_0, \Delta y_0$  w układzie osi  $X_0, Y_0$  (rys. 2) i następnie obliczyć wartości  $I_x^0, I_y^0$  oraz  $I_{xy}^0$  momentów bezwładności i momentu dewiacji całego przekroju idealnego względem osi  $X_0, Y_0$  (rys. 2).

W większości przypadków przekrojów żelbetowych posiadających zbrojenie rozmieszczone równomiernie na całym obwodzie, środek ciężkości C przekroju idealnego znajduje się zazwyczaj bardzo blisko środka ciężkości O przekroju betonu. Dlatego też w tych przypadkach, wartości  $\Delta x_0$  oraz  $\Delta y_0$  są



Rys. 2



niewielkie i można przyjąć, bez popełnienia większego błędu, że osie  $X_c, Y_c$  pokrywają się z osiami  $X_0, Y_0$ .

Położenia środków ciężkości O i C oraz wartości momentów bezwładności  $I_x^c, I_y^c$  i momentu dewiacji  $I_{xy}^c$  można łatwo określić wykreślnie lub analitycznie w oparciu o znane sposoby przedstawione np. w [18], [19] i [21].

Położenie osi bezwładności  $\eta - \eta$  można następnie wyznaczyć w oparciu o znaną konstrukcję koła bezwładności Mohra przedstawioną np. w [18] i [19]. Położenie  $\xi_1 - \xi_1$  osi obojętnej wg teorii OP określa się jako równoległe do osi bezwładności  $\eta - \eta$  wykorzystując równania równowagi (2) i (6). Równania te będą spełnione tylko wtedy, gdy wypadkowa wszystkich sił działających w przekroju żelbetowym znajdzie się w punkcie  $O_N$  - przyłożenia siły  $N_N$  (rys. 2). Jeżeli wobec tego oś część przekroju betonu od strony ściskanej (od strony siły N) podzielimy na wąskie paski o powierzchniach  $f_{b1}$ , równoległe do prostej  $\eta - \eta$  i w środkach ciężkości tych pasków zaczepimy siły  $P_{b1} = f_{b1} R_m$  a w środkach ciężkości wkładek zbrojeniowych siły  $P_{z1} = f_{z1} Q$  oraz jeżeli dla tych sił powierzchniowych wykreślimy w układzie wieloboki sił i wieloboki sznurowe I i II w sposób pokazany na rys. 2, to uzyskamy sposobem wykreślnym spełnienie równań (2) i (6).

Kolejną numerację sił powierzchniowych od 1 do i najlepiej jest rozpoczynać od paska lub pręta zbrojeniowego położonego najbliżej siły N (punktu  $O_N$ ).

Wieloboki sznurowe I i II należy wykreślać równocześnie, przy czym wielobok sznurowy I - dla wszystkich sił powierzchniowych ustawionych w kolejności zgodnej z przyjętą numeracją oraz wielobok sznurowy II - tylko dla sił powierzchniowych w zbrojeniu, ustawionych w kolejności odwrotnej do przyjętej numeracji. Początkowe boki tych wieloboków sznurowych muszą leżeć na wspólnej prostej A - A (rys. 2). Przedłużenia każdej kolejnej pary wieloboków sznurowych I i II przecinają się w jakimś punkcie. Wykreślanie tych wieloboków sznurowych przerywamy wtedy, gdy natrafimy na parę takich boków, których przedłużenia  $B_I - B_I$  i  $B_{II} - B_{II}$  przecinają się w punkcie  $O_E$  leżącym na lub bardzo blisko prostej E - E, przechodzącej przez punkt  $O_N$  równoległe do prostej  $\eta - \eta$  (rys. 2).

Kierunek wypadkowej ciśnięć D znajduje się na przecięciu prostej  $B_I - B_I$  z prostą A - A. Kierunek wypadkowej ciągnień Z znajduje się na przecięciu prostej  $B_{II} - B_{II}$  z prostą A - A. Oba te kierunki są równoległe do kierunku  $\eta - \eta$  (rys. 2).

Konstrukcję pokazaną na rys. 2 oparto na znanych zależnościach dotyczących momentów statycznych grupy sił równoległych względem zadanego punktu (zależności te przedstawiono np. w [20] i [21]).

Zgodnie z nimi, wg rys. 2 można zapisać

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

oraz warunek równowagi momentów odpowiadający równaniu (2)

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

Poszukiwane położenie  $\xi_1 - \xi_1$  osi obojętnej stanowi ograniczenie ostatniego spośród pasków strefy ściskanej betonu, ustalonego na podstawie wieloboku sznurowego I (np. na rys. 2 pasek nr 5).

Niewielki zazwyczaj błąd  $\Delta$ , wyznaczenia położenia punktu  $O_E$  w odniesieniu do prostej E - E, tym samym błąd wyznaczenia położenia  $\xi_1 - \xi_1$  osi obojętnej, można jeszcze bardziej zredukować, dzieląc dodatkowo paski znajdujące się w pobliżu osi obojętnej na paski o mniejszych powierzchniach  $f_{b1}$  (np. na rys. 2 można dodatkowo podzielić paski nr 5 i 6). Pociąga to za sobą korektę wieloboku sił i wieloboku sznurowego I oraz zmianę położenia punktu  $O_E$  (zbliżenie punktu  $O_E$  do prostej E - E na odległość  $\Delta = \approx \text{ok. } 0$ ).

W niniejszym opracowaniu nie redukowano odchyłki  $\Delta$  mając na uwadze przejrzystość rysunku (rys. 2). Założono, że otrzymany błąd  $\Delta$  mieści się w granicach dopuszczalnych ( $\pm 2,5\%$ ).

Położenie  $\xi_1 - \xi_1$  rozgranicza wyraźnie całe zbrojenie w przekroju na część ściskaną  $F'_z$  i rozciąganą  $F_z$  oraz wyznacza kształt strefy ściskanej betonu. Pozwala to na określenie położenia środków ciężkości:  $O_z$  - zbrojenia rozciąganego i  $O'_z$  - zbrojenia ściskanego. Położenia te można ustalić sposobem wykreślnym lub analitycznym. W dalszym ciągu przez punkty  $O_z$  oraz  $O_N$ , należy poprowadzić prostą obciążeń  $\beta - \beta$  i następnie przedłużyć kierunek siły D do przecięcia z prostą  $\beta - \beta$ , otrzymując w ten sposób punkt  $O_D$  - przyłożenia wypadkowej ciśnień w przekroju (rys. 2). W szczególnym przypadku prosta obciążeń  $\beta - \beta$  może pokryć się z prostą  $\alpha - \alpha$  przechodzącą przez punkty C i  $O_N$ .

Ostateczne położenie osi obojętnej  $\xi - \xi$  zależy od miejsca przyłożenia wypadkowej  $D_b$  sił ściskających w betonie (punktu  $O_b$ ) i w związku z tym konieczna jest nieznacząca korekta położenia  $\xi_1 - \xi_1$  osi obojętnej. Korektę taką można przeprowadzić wykreślając wielobok sił i wielobok sznurowy III, dzięki któremu, w oparciu o znane położenia punktów  $O_D$  i  $O'_z$  (miejsca przyłożenia sił D i  $D'_z$ ), znajdujemy położenie punktu  $O_b$  i tym samym skorygowane położenie  $\xi - \xi$  osi obojętnej w przekroju (rys. 2).

Zgodnie z konstrukcją przedstawioną na rys. 2, skorygowane położenie  $\xi - \xi$  osi obojętnej oraz położenie  $\xi_1 - \xi_1$  powinny odciąć strefy ściskane betonu o równych powierzchniach wynoszących  $F_b = D_b/R_m$ . Zagadnienie wyznaczania skorygowanego położenia osi obojętnej sprowadza się więc do znalezienia, najlepiej sposobem graficznym, takiej prostej  $\xi - \xi$ , która odciłaby strefę ściskaną o polu powierzchni równym  $F_b$  posiadającą środek ciężkości w punkcie  $O_b$ .

Po znalezieniu ostatecznego położenia  $\xi - \xi$  osi obojętnej należy wykreślić prostą  $\xi - \xi$ , przechodzącą przez środek ciężkości zbrojenia rozciąganego  $O_z$  równoległe do osi  $\xi - \xi$  (rys. 1 i 2). Prosta  $\xi - \xi$  odcina strefę



betonu o powierzchni  $F$  posiadającą środek ciężkości w punkcie  $O_F$  (rys. 1 i 2). Położenie tego punktu jak również wartość powierzchni  $F$  łatwo można wyznaczyć sposobem graficznym lub analitycznym.

W dalszej kolejności należy odczytać z rysunku przekroju wartości  $v$  i  $w$ , tj. odpowiednio odległości punktów  $O_b$  i  $O_F$  od prostej  $\xi - \xi$  (rys. 1 i 2) i obliczyć wartości momentów statycznych  $S_b = F_b v$  oraz  $S_o = F w$ .

Jeżeli  $S_b > \phi S_o$ , wtedy zachodzi przypadek małego mimośrodru nie wchodzący w zakres niniejszego opracowania.

Jeżeli natomiast  $S_b < \phi S_o$ , wtedy ma miejsce przypadek dużego mimośrodru i w dalszym ciągu wartość poszukiwanej siły niszczącej  $N_n$  (nośności przekroju) należy odczytać z wieloboków sił, wykreślonych dla wieloboków sznurowych I i II (rys. 2) będących odpowiednikiem równania (6) a następnie wg (8) obliczyć wartość współczynnika pewności

$$s = \frac{N}{N_n}$$

W przypadku, gdy  $0 < S_b \leq 0,1 S_o$ , nośność przekroju należy obliczyć według (11)

$$N_n = \left( \frac{e}{e'} - 1 \right) F_z Q_r$$

Ogólnie stwierdzić jednak należy, że w przypadku przekroju dowolnego znalezienie skorygowanego położenia  $\xi - \xi$  osi obojętnej staje się procesem dość pracochłonnym. Biorąc pod uwagę fakt, że praktycznie 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 budowy 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 ściskanej betonu wyznaczonej w przekroju przez prostą  $\xi_1 - \xi_1$  i następnie, po wykreśleniu prostej  $\xi_1 - \xi_1$  przechodzącej przez punkt  $O_x$  równoległe do prostej  $\xi_1 - \xi_1$ , określić wartości  $F_1$ ,  $v_1$ ,  $w_1$ ,  $S_{b1}$  i  $S_{o1}$  analogicznie jak wartości  $F$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $S_b$  i  $S_o$ , określone dla osi obojętnej  $\xi - \xi$  i równoległej do niej prostej  $\xi - \xi$ .

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. Uproszczenie to nie wpływa w ogóle na wartość wyznaczanej niniejszą metodą nośności przekroju  $N_n$ .

### 5. Wnioski i uwagi końcowe

Opisana wyżej metoda może być przydatna do wyznaczania nośności zadanych przekrojów żelbetowych, dla których nośność wyznaczona w oparciu o przybliżoną zależność (1) jest z reguły niższa od wartości wymaganej przez normę [16] ( $s < s_n$ ) i sugeruje wzmocnienie przekroju dodatkowymi prętami zbrojeniowymi, podczas gdy przy dokładnym rozpatrzeniu zagadnienia, wzmocnienie takie nie zawsze jest konieczne.

Projekt nowej normy [22] nie wnosi nic nowego do zagadnienia określania nośności przekrojów ukośnie mimośrodowo ściskanych, zalecając nadal stosowanie metody przybliżonej, analogicznej do proponowanej przez normę [16]. Uwzględniając przepisy projektu normy [22] w przedstawionej wyżej metodzie należy zastosować nowe, bardziej ścisłe, wyrażenia określające współczynniki poprawkowe  $m_x$  i  $m_y$ .

Przedstawiona metoda może mieć także zastosowanie w odniesieniu do przekroju dowolnego 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 po przeciwnej, aniżeli na rys. 1,2 stronie przekroju (od strony strefy rozciąganej).

### LITERATURA

- [1] Torjanik M. S.: Rascziot żeliezo-bietonnych elementow na kosoje wnieciennoje szatije. Stroitiel naja Promysliennost, Nr 9, 1951.
- [2] Gawliński O.: Projektowanie żelbetowych przekrojów ukośnie zginanych wg teorii plastycznych odkształceń. Inżynieria i Budownictwo, Nr 9, 1951.
- [3] Kisiel I.: Zginanie niesymetryczne w żelbecie. Inżynieria i Budownictwo nr 3, 1952.
- [4] Kączkowski Z.: Wymiarowanie słupów ukośnie mimośrodowo ściskanych. Inżynieria i Budownictwo. nr 2, 1953.
- [5] Zalewski W., Draguła J.: Tablice do wymiarowania prostokątnych przekrojów żelbetowych na dwukierunkowe ściskanie lub rozciąganie mimośrodowe. Biuro Studiów i Projektów Typowych Budownictwa Przemysłowego, Warszawa 1954.
- [6] Winokur A., Zalewski W.: Tablice do wymiarowania żelbetu. B i A, Warszawa 1956.
- [7] Klokner F., Hruban K.: Železový beton. I Dil. Statni Nakladatelstvi Technické Literatury, Praha 1959.
- [8] Wachnienko P.F.: Rascziot na kosoje wnieciennoje szatije żeliezo-bietonnych elementow priamougol nowo sieczenija s niesimmetričnoj armaturoj. Stroitiel stwo i Architektura, Nowosibirsk, nr 1, 1965.
- [9] Tockij O. N.: Pribliżennyje sposoby rascziota kosoizgibajemych żeliezo-bietonnych elementow. Beton i Želiezobeton, nr 1, 1965.

- [10] Tockij O. N.: Rascziot eliemientow żeliezobietonnych konstrukcij na kosoje wniecienrienneje szatije. Stroitel' stwo i Architektura, Nowosibirsk, nr 3, 1965.
- [11] Mylonas G. A.: Working Stress Column Design Using Interaction Diagrams. Journal of the American Concrete Institute, August 1967, nr 8, proceedings V. 64.
- [12] Wachnienko P.F.: O rabotie żeliezobietonnych eliemientow dwutawrow-sieczeniija na kosoje wniecienrienneje szatije. Stroitel' stwo i Architektura, Nowosibirsk, nr 12, 1967.
- [13] Owieczkin A. M., Chliebnoj J.F. (i drugije): Primery rascziota żeliezobietonnych konstrukcij. Izdat. Wysszaja Szkoła, Moskwa, 1968.
- [14] Wachnienko P.F.: O racional'nom razmieszczenji armatury po siezczeniju kososżimajemych żeliezobietonnych eliemientow. Beton i Żeliezobeton, nr 2, 1969.
- [15] Wachnienko P. F., Rydienko J. M., Torjanik M. S.: Eksperimenta'no - teoreticzeskije issliedowanija procznosti kososżimajemych żeliezobietonnych eliemientow. Stroitel' stwo i Architektura, Nowosibirsk nr 2, 1970.
- [16] PN-56/B-03260 - Konstrukcje żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [17] Torjanik M. S., Sierdjuk L. I.: O prowierkie dostatočnoj procznosti szatoj zopy bietona kososżibajemych żeliezobietonnych eliemientow. Stroitel' stwo i Architektura, Nowosibirsk, nr 11, 1967.
- [18] Schreyer: Praktische baustatik. Teil 1 und 2. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1954.
- [19] Orłowski W., Słowański L.: Wytrzymałość materiałów. Przykłady obliczeń. Arkady, Warszawa 1966.
- [20] Huber M. T.: Mechanika ogólna i techniczna. PWN, Warszawa 1956.
- [21] Wierzbiicki W.: Wstęp do mechaniki budowli. PWN, Warszawa 1959.
- [22] Projekt normy PN/B-03264 - Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [23] Instrukcja stosowania i przykłady obliczeń do projektu normy PN/B-03264 - Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie. Warszawa 1970.



ГРАФИЧЕСКО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ  
ПРОИЗВОЛЬНЫХ КОСОСЖИМАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СЕЧЕНИЙ В СЛУЧАЕ БОЛЬШОГО  
ЭКСЦЕНТРИЦИТЕТА

Р е з ю м е

В статье представлено методу позволяющую определить несущую способность для заданного железобетонного сечения с учётом действительного распределения сил в сечении.

В разработке соответственно использовано знакомые зависимости из графической статики, касающиеся многоугольников сил и конгруэнтных им вервочечных многоугольников.

GRAPHICALLY-ANALYTICAL METHOD DETERMINATION OF ULTIMATE BEARING CAPACITY FOR DISCRETIONAL 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 it is presented the method allowing to determine of the ultimate bearing capacity for given reinforced concrete section with taking into consideration real force distribution in the section.

In the article there are correspondency utilized known dependences form graphical static concerning polygons of forces and answering them funicular polygons.