

Ponieważ $M_{Sd} = 325 \text{ kNm} < M_{Rd} = 333,44 \text{ kNm}$, warunek nośności (5.15) jest spełniony.

5.3. OBLICZANIE PRZEKROJÓW ELEMENTÓW ŚCISKANYCH

5.3.1. Mimośród początkowy oraz wpływ smukłości elementu i obciążenia długotrwałego

W przekroju poprzecznym elementu mimośrodowo ściskanego występuje obliczeniowy moment zginający M_{Sd} i siła podłużna ściskająca N_{Sd} , które w obliczeniach zastępuje się siłą N_{Sd} działającą na mimośrodkie konstrukcyjnym $e_c = M_{Sd}/N_{Sd}$ odmierzanym od osi ciężkości elementu, wyznaczonej dla jego betonowej części (z pominięciem zbrojenia). W przypadku gdy w obliczeniach nośności uwzględnia się wpływ smukłości elementu, mimośród e_c – zgodnie z zaleceniami normy [N1] – należy określać następująco:

- a) jeżeli element występuje w układzie ramowym o węzłach nieprzesuwanych:
 - przy prostoliniowym rozkładzie momentów zginających wzdłuż elementu (rys. 5.11a) – jako

$$e_c = \left| \frac{0,6 M_{1Sd} + 0,4 M_{2Sd}}{N_{Sd}} \right| \geq \left| \frac{0,4 M_{1Sd}}{N_{Sd}} \right| \quad (5.53)$$

- przy krzywoliniowym rozkładzie momentów zginających wzdłuż elementu (rys. 5.11b, c) – jako

$$e_c = \left| \frac{M_{3Sd}}{N_{Sd}} \right| \quad (5.54)$$

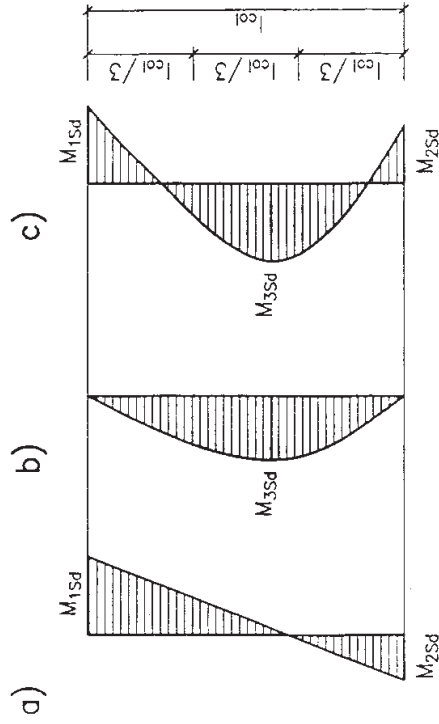
gdzie:

- M_{1Sd}, M_{2Sd} – wartości algebraiczne momentów zginających, występujących na końcach elementu, przy czym $|M_{1Sd}| \geq |M_{2Sd}|$,
- M_{3Sd} – ekstremalna wartość momentu zginającego, występująca na środkowym odcinku równym $1/3$ długości elementu,

- b) jeżeli element występuje w układzie ramowym o węzłach przesuwanych – jako

$$e_c = \left| \frac{M_{1Sd}}{N_{Sd}} \right| \quad (5.55)$$

gdzie M_{1Sd} jest ekstremalną wartością momentu zginającego na całej długości elementu.



Rys. 5.11. Umiejscowienie obliczanych przekrojów w elementach mimośrodowo ściskanych podpartych na końcach nieprzesuwanych w kierunku prostoliniowym do osi elementu, przy następującym rozkładzie momentów zginających: a) prostoliniowym, b) krzywoliniowym jednakożnego znaku, c) krzywoliniowym o zmiennych znakach

Przypadek osiowego ściskania elementu (przy $M_{Sd} = 0$) jest bardzo trudny do zrealizowania w praktyce, nawet w warunkach laboratoryjnych. Ślad też można przyjąć, że wszystkie elementy zaprojektowane przy założeniu ich osiowego ściskania, w rzeczywistości będą pracowały jako elementy ściskane mimośrodowo. Praktycznie nie do uniknięcia są bowiem przypadkowe mimośrodności niezamierzone e_a podłużnej siły ściskającej, powodowane na przykład różnicowaniem cech wytrzymałościowych betonu i stali czy też odchyleniami od założonego kształtu elementu (początkową krzywizną) lub od założonego usytuowania elementu w konstrukcji.

Wartość niezamierzonego mimośrodowo e_a , przyjmuje się zgodnie z normą [N1] jako równą największej spośród następujących wartości:

$$e_a = \frac{l_{col}}{600}$$

– w ustrojach szkieletowych o węzłach nieprzesuwnych

oraz w ustrojach ścianowych, gdzie l_{col} jest odległością między punktami podparcia elementu, a w przypadku elementu wspornikowego – jego długością,

$$e_a = \frac{l_{col}}{600} \left(1 + \frac{1}{n} \right)$$

w ustrojach szkieletowych o węzłach przesuwnych w

elementach n-tej kondygnacji licząc od góry,

$$e_a = \frac{h}{30}$$

przy czym h jest wysokością przekroju mierzona w kierunku równoległym do płaszczyzny obciążenia,

$$e_a = 10 \text{ mm}$$

– w konstrukcjach monolitycznych oraz prefabrykowanych ścian i powłok,

$$e_a = 20 \text{ mm}$$

– w konstrukcjach prefabrykowanych, z wyjątkiem ścian i powłok.

W normie europejskiej EC2 [N17] czynniki ujętowane w normie polskiej [N1] za pomocą mimośrodowo niezamierzonego e_a nazywane są imperfekcjami geometrycznymi. Według [N17] wpływ imperfekcji na konstrukcję można m.in. ujmować także za pomocą mimośrodowo wyrażonego wzorem

$$e_i = \theta_i l_0 / 2 \quad (5.56)$$

w którym same imperfekcje reprezentowane są przez obliczeniowe nachylenie elementu ściskanego

$$\theta_i = \alpha_h \alpha_m / 200 \quad (5.57)$$

gdzie:

$\alpha_h = 2\sqrt{l}$ oraz $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$ – współczynnik redukcji wysokości elementu.

$\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)}$ – współczynnik uwzględniający liczbę elementów.

l – rzeczywista długość lub wysokość elementu w [m],
 m – liczba pionowych elementów, w których uwzględnia się wpływ imperfekcji; np. $m = 1$ w przypadku elementu wyizolowanego z konstrukcji.

Według normy polskiej [N1], mimośród początkowy siły podłużnej ściskającej N_{sd} , odmierzony od środka ciężkości przekroju betonowej części elementu, należy określać wg następującego wzoru:

$$e_0 = e_e + e_a \quad (5.58)$$

w którym e_e i e_a są mimośrodkami wyznaczanymi jak wyżej.

Natomiast wpływ smukłości na nośność ściskanego elementu żelbetowego uwzględnia się w obliczeniach drogą zwiększenia mimośrodu początkowego e_0 do wartości e_{tot} wg zależności:

$$e_{tot} = \eta e_0 \quad (5.59)$$

Współczynnik zwiększający η , wynikający z uwzględnienia tzw. efektów II rzędu rozumianych przez normę [N1] jako powiększenie mimośrodu początkowego na skutek ugięcia się elementu, wyznacza się ze wzoru:

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N_{sd}}{N_{crit}}} \quad (5.60)$$

Występująca we wzorze (5.60) wielkość N_{crit} jest klasyczną siłą Eulerowską adaptowaną do prętowych elementów żelbetowych, które między innymi przenoszą także obciążenia długotrwałe. Wzór określający tę siłę jest następujący

$$N_{crit} = \frac{9}{l_0^2} \left[\frac{E_{cm} I_c}{2 k_h} \left(\frac{0,11}{0,1 + \frac{e_0}{h}} + 0,1 \right) + E_s I_s \right] \quad (5.61)$$

We wzorze tym I_c oznacza moment bezwładności przekroju betonowej części elementu względem jego środka ciężkości O_c (patrz rys. 5.12), I_s – moment bezwładności całego zbrojenia względem tego samego środka ciężkości O_c (przy wymiarowaniu można na wstępie obliczeń przyjąć $I_s \approx 0,03 I_c$), zaś l_0 jest długością obliczeniową elementu.

Występujący we wzorze (5.61) iloraz e_0/h powinien spełniać warunki

$$e_0/h \geq 0,50 - 0,01 l_0/h - 0,01 f_{cd} \geq 0,0 \quad (5.62)$$

przy czym wartość f_{cd} podstawiać należy w tych wzorach w MPa.

Wpływ długotrwałego obciążenia elementu wyraża we wzorze (5.61) współczynnik określany wzorem

$$k_{II} = 1 + 0,5 \frac{N_{Sd,II}}{N_{Sd}} \phi(\sigma, t_0) \quad (5.63)$$

w którym

$N_{Sd,II}$ — siła podłużna ściskająca spowodowana działaniem długotrwałej

części obciążenia obliczeniowego,

$\phi(\sigma, t_0)$ — końcowy współczynnik pełzania betonu wg tabelicy A.1 w normie [NI].

Nośność żelbetowego elementu ściskanego, z uwzględnieniem wpływu smukłości i obciążenia długotrwałego, należy sprawdzać w przypadku, gdy smukłość elementu $\lambda = l_0/i > 25$ (i — promień bezwładności przekroju betonowej części elementu, rozpatrywany w kierunku równoległym do płaszczyzny obciążenia). W przypadku nieuwzględniania wpływu smukłości współczynnik $\eta = 1,0$.

Norma europejska [N17] wpływu smukłości, albo inaczej: efektów drugiego rzędu, nakazuje uwzględnić dla elementów prętowych, których smukłość λ jest co najmniej równa wartości granicznej λ_{lim} określonej wzorem podanym w [N17]. Procedura uwzględniania tego wpływu jest bardziej skomplikowana od przedstawionej wyżej propozycji normy polskiej [N1] i opiera się ona bądź to na określeniu tzw. nominalnej sztywności elementu albo też na szacowaniu jego nominalnej krzywizny.

5.3.2. Wpływ wielkości mimośrodów na charakter zniszczenia przekroju

Badania eksperymentalne wykazały, że charakter zniszczenia przekroju żelbetowego mimośrodowo ściskanego zależy od wielkości mimośrodu na jakim działa siła podłużna ściskająca oraz od ilości zbrojenia znajdującego się w ściskanej i rozciąganej strefie przekroju. Stąd też w teorii konstrukcji żelbetowych rozróżnia się dwa następujące podstawowe przypadki mimośrodowego ściskania, wyróżniane przez normę [N1] w zależności od względnej efektywnej wysokości ξ_{eff} strefy ściskanej i jej wartości granicznej $\xi_{eff,lim}$ (tabl. 5.1) w rozpatrywanym przekroju elementu:

A. Przypadek dużego mimośrodu — gdy $\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$, co jest równoznaczne z przypadkiem $x_{eff} \leq x_{eff,lim} = \xi_{eff,lim} d$ (patrz rys. 5.12) — w którym zniszczenie przekroju następuje na skutek osiągnięcia przez zbrojenie rozciągane obliczeniowej granicy plastyczności stali f_{yd} .

Ważne wydłużenia uplastycznionych stalowych prętów rozciąganych powodują powstanie szybko powiększających się rys w betonie strefy rozciąganej i związane z tym przesuwanie się osi obojętnej ku ściskanej krawędzi przekroju. Tym samym naprężenia obliczeniowe w betonie

strefy ściskanej osiągną graniczną wartość f_{cd} , a w stali znajdującej się w tej strefie obliczeniową granicę plastyczności f_{yd} .

B. Przypadek małego mimośrodu — gdy $\xi_{eff} > \xi_{eff,lim}$, co jest równoznaczne z przypadkiem $x_{eff} > x_{eff,lim} = \xi_{eff,lim} d$ (patrz rys. 5.15) — w którym zniszczenie przekroju następuje na skutek osiągnięcia przez beton obliczeniowej wytrzymałości f_{cd} w pobliżu ściskanej krawędzi przekroju, a nośność zbrojenia rozciąganego lub innej ściskanego nie jest w pełni wykorzystana.

W niniejszym podrzdziale, zgodnie z podejściem normy [N1], utrzymano jednolicie powyższą klasyfikację przypadków mimośrodowego ściskania, opartą na wartościach ξ_{eff} i $\xi_{eff,lim}$, stosując we wzorach te właśnie wielkości zamiast x_{eff} i $x_{eff,lim}$. Ponadto, uwzględniając, że większość spotykanych w praktyce prętowych elementów żelbetowych mimośrodowo ściskanych, ma przekrój prostokątny, w rozdziale tym rozpatruje się tylko prostokątne przekroje mimośrodowo ściskane.

5.3.3. Przekrój prostokątny mimośrodowo ściskany — duży mimośród

W obliczeniach przekrojów elementów żelbetowych mimośrodowo ściskanych siłą podłużną działającą na mimośrodek e_{0II} względem osi ciężkości betonowej części elementu, zazwyczaj trudno jest na wstępie precyzyjnie określić przypadek mimośrodowego ściskania. W związku z tym, zawsze na początku obliczeń zakładamy, że mamy do czynienia z przypadkiem dużego mimośrodu i całkowity mimośród e_{0II} siły podłużnej wyznaczamy wg zależności (5.59). Dopiero w trakcie obliczeń może się okazać, że założenie było błędne i faktycznie zachodzi przypadek małego mimośrodu. Parametry geometryczno-wytrzymałościowe obliczanego przekroju określamy w sposób identyczny jak w elementach zginanych (podrozdział 5.2).

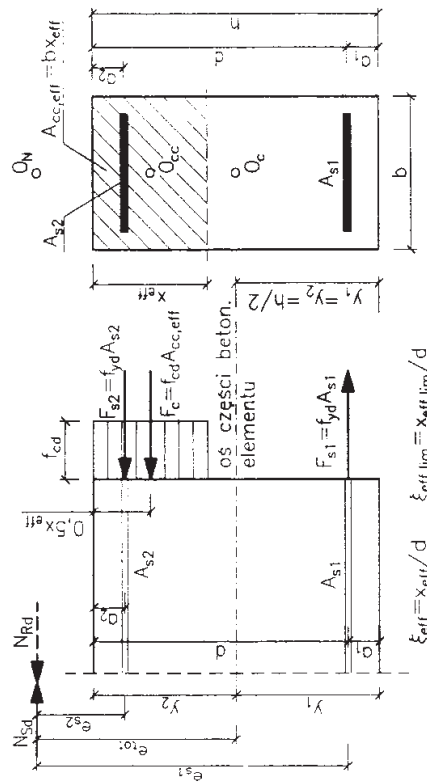
Jeżeli w obliczeniach uwzględnia się wpływ smukłości elementu, to na etapie wymiarowania nie znana jest wartość momentu bezwładności I_s zbrojenia we wzorze (5.61) określającym N_{crit} . Wtedy można wstępnie przyjąć $I_s \approx 0,03 I_c$ i, jeżeli moment bezwładności $I_{s,prov}$ obliczony po zwymiarowaniu i doborze zbrojenia różni się od początkowej wartości więcej niż o 5%, to we wzorze (5.61) należy przyjąć $I_s = I_{s,prov}$ i cały tok wymiarowania powtórzyć od początku.

Potrzebne w obliczeniach mimośrody siły podłużnej względem osi ciężkości przekrojów zbrojeń Λ_{s1} i Λ_{s2} (rys. 5.12) wynoszą odpowiednio

$$c_{st} = c_{tot} + y_1 - a_1 \quad (5.64)$$

$$c_{s2} = |c_{tot} - y_2 + a_2| \quad (5.65)$$

przy czym w przypadku przekroju prostokątnego położenie osi ciężkości elementu wynosi $y_1 = y_2 = 0,5h$ (rys. 5.12).



Rys. 5.12. Rozkład granicznych naprężeń i sił wewnętrznych w przekroju żelbetonowym prostokątnym mimośrodowo ściskanym w przypadku dużego mimośrodru (punkt O_c oznacza środek ciężkości przekroju betonowej części elementu, zaś O_{sc} - środek ciężkości strefy ściskanej przekroju)

5.3.3.1. Wymiarowanie zbrojenia niesymetrycznego

Celem obliczeń jest wyznaczenie pól przekrojów: A_{s1} zbrojenia rozciągającego i A_{s2} zbrojenia ściskającego, w zadanym przekroju prostokątnym (rys. 5.12) mimośrodowo ściskanym obliczeniową siłą podłużną N_{sd} działającą na mimośrodku e_{tot} , przy czym przekroj ten znajduje się w elemencie wykonanym z betonu o znanej klasie B, uzbrojonym w obu strefach przekroju prętami ze stali o znanej klasie A.

W rozpatrywanym przypadku dużego mimośrodru, oprócz A_{s1} i A_{s2} , niewiadomą pozostaje też względna efektywna wysokość ξ_{eff} strefy ściskanej, której wartość w związku z tym musimy z góry przyjąć, gdyż dysponujemy tylko dwoma równaniami równowagi uogólnionych sił w przekroju. Przyjmujemy zatem jej graniczną wartość, tj. $\xi_{eff} = \xi_{eff,lim}$ i poszukiwane

pole przekroju zbrojenia ściskającego wyznaczamy (z równania równowagi momentów zapisanego względem osi ciężkości przekroju zbrojenia A_{s1}) jako

$$A_{s2} = \frac{N_{sd} e_{st} - f_{cd} b d^2 \xi_{eff,lim} (1 - 0,5 \xi_{eff,lim})}{f_{yd} (d - a_2)} \quad (5.66)$$

Jeżeli $A_{s2} \leq 0$, to zmniejszamy wymiary przekroju betonu i powtarzamy obliczenia. Natomiast w przypadku przeciętnym ($A_{s2} > 0$), dobieramy średnicę i liczbę prętów zbrojeniowych ściskanych o przekroju $A_{s2,prov}$ spełniającym następujące warunki, wynikające z przepisów normy [NI]

$$A_{s2,prov} \geq \begin{cases} A_{s2} \\ 2 \phi 10 & \text{w rozstawie } \leq 400 \text{ mm - w elem. prefabryk.} \\ 2 \phi 12 & \text{w rozstawie } \leq 400 \text{ mm - w elem. monolit.} \end{cases} \quad (5.67)$$

Rozmieszczenie tych prętów w przekroju oraz określenie $a_{2,prov}$ odbywa się w sposób identyczny jak w przekroju zginanym podwójnie zbrojonym (patrz podrozdział 5.2.2).

Jeżeli uda się tak dobrać pręty zbrojeniowe, aby $A_{s2,prov} \approx A_{s2}$, to pole przekroju zbrojenia rozciąganego obliczamy ze wzoru (otrzymanego z równania równowagi sił):

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} b d \xi_{eff,lim} + f_{yd} A_{s2,prov} - N_{sd}}{f_{yd}} \quad (5.68)$$

Gdy ze wzoru (5.68) otrzymamy ujemną wartość A_{s1} ($A_{s1} < 0$), to oznacza to, że zachodzi przypadek małego mimośrodru i dalsze obliczenia należy poprowadzić wg procedury opisanej w podrozdziale 5.3.4. Natomiast w przypadku gdy $A_{s2,prov} > A_{s2}$, to znaczy, gdy strefa ściskana nie będzie w pełni wykorzystana, najpierw obliczamy wartość sprowadzonego do postaci bezwymiarowej momentu zginającego (wynikającego z równania równowagi momentów zapisanego względem osi ciężkości przekroju zbrojenia rozciąganego)

$$M_{sc,eff} = \frac{N_{sd} e_{st} - f_{yd} A_{s2,prov} (d - a_{2,prov})}{f_{cd} b d^2} \quad (5.69)$$

a następnie względną efektywną wysokość strefy ściskanej $\xi_{st,eff}$ (względnie położenie umownej osi obojętnej) według (5.6).

Jeżeli $2a_{2,prov}/d \leq \xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$, to pole przekroju zbrojenia rozciąganego obliczamy z zależności (otrzymanej z równania równowagi sil)

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} b d \xi_{eff} + f_{yd} A_{s2,prov} - N_{Sd}}{f_{yd}} \quad (5.70)$$

a gdy $\xi_{eff} < 2a_{2,prov}/d$, ze wzoru (otrzymanego z równania równowagi momentów zapisanego względem osi ciężkości przekroju zbrojenia ściskanego, przy przyjęciu $\xi_{eff} = 2a_{2,prov}/d$)

$$A_{s1} = \frac{N_{Sd} e_{s2}}{f_{yd} (d - a_{2,prov})} \quad (5.71)$$

Dobór prętów zbrojeniowych rozciąganych i związane z tym określanie pola $A_{s1,prov}$ oraz wielkości $a_{1,prov}$ i d_{prov} odbywa się w sposób analogiczny jak w podrozdziale 5.2.1, dotyczącym przekroju zginanego. W przypadku konieczności powtórzenia obliczeń związanych z wymiarowaniem, gdy $d_{prov} < d$, należy tu dodatkowo określić $e_{s1,prov}$ i $e_{s2,prov}$ według wyrażen (5.64) i (5.65) wprowadzając do nich $a_{1,prov}$ i $a_{2,prov}$ zamiast a_1 i a_2 .

Zbrojenie rozciągane musi spełniać następujące warunki, wynikające z przepisów normy [N1]

$$A_{s1,prov} \geq \begin{cases} A_{s1} & \text{w rozstawie } \leq 400 \text{ mm} - \text{w elem. pre(ąbryk.} \\ 2\phi 10 & \text{w rozstawie } \leq 400 \text{ mm} - \text{w elem. monolit.} \end{cases} \quad (5.72)$$

Ponadto należy sprawdzić, czy przyjęte zbrojenie sumaryczne mieści się w następujących granicach wyznaczonych przez normę [N1]:

$$0,04 b h \geq A_{s1,prov} + A_{s2,prov} \geq A_{s,min} = \max \left(0,15 \frac{N_{Sd}}{f_{yd}}; 0,003 b h \right) \quad (5.73)$$

5.3.3.2. Wymiarowanie zbrojenia symetrycznego

Elementy żelbetowe ściskane na dużym mimośrodku zbroi się symetrycznie ($A_{s1} = A_{s2}$ oraz $a_1 = a_2$) jedynie w wyjątkowych sytuacjach, np. w słupach ram, których przekroje mogą być obciążone momentami zginającymi o różnych znakach i zbliżonych wartościach bezwzględnych.

W obliczaniem przekroju o zadanych parametrach geometryczno-wytrzymałościowych wyznaczamy najpierw względną efektywną wysokość strefy ściskanej (otrzymaną z równania równowagi sil)

$$\xi_{eff} = \frac{N_{Sd}}{f_{cd} b d} \quad (5.74)$$

Jeżeli $\xi_{eff} > \xi_{eff,lim}$, to dalsze obliczenia należy poprowadzić jak dla przypadku małego mimośrodu (patrz podrozdział 5.3.4.2).

Jeżeli natomiast $2a_2/d \leq \xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$, to pole przekroju zbrojen wyznaczamy ze wzoru (wynikającego z równania równowagi momentów zapisanego względem osi ciężkości przekroju zbrojenia rozciąganego):

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{N_{Sd} e_{s1} - f_{cd} b d^2 \xi_{eff} (1 - 0,5 \xi_{eff})}{f_{yd} (d - a_2)} \quad (5.75)$$

a gdy $\xi_{eff} < 2a_2/d$, to pole to wyznaczamy z następującej zależności (otrzymanej z równania równowagi momentów zapisanego względem osi ciężkości przekroju zbrojenia ściskanego, przy przyjęciu $\xi_{eff} = 2a_2/d$):

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{N_{Sd} e_{s2}}{f_{yd} (d - a_2)} \quad (5.76)$$

Zasady doboru i rozmieszczenia zbrojenia pozostają tu takie same jak w przypadku zbrojenia niesymetrycznego (podrozdział 5.3.3.1).

5.3.3.3. Nośność przekroju

Nośność wyznaczamy zwykle dla przekroju istniejącego (lub tuż po jego zaprojektowaniu, gdy $d_{prov} < d$), o znanych parametrach geometryczno-wytrzymałościowych oraz zbrojeniu rozciąganim i ściskanim mającym pola przekroju $A_{s1,prov}$ i $A_{s2,prov}$, założonym w odległościach $a_{1,prov}$ i $a_{2,prov}$ od najbliższych krawędzi, a także znanej wysokości użytecznej $d_{prov} = h - a_{1,prov}$ (patrz rys. 5.12, przy uwzględnieniu w nim $a_{1,prov}$, $a_{2,prov}$, $e_{s1,prov}$, $e_{s2,prov}$, $A_{s1,prov}$ oraz $A_{s2,prov}$ zamiast a_1 , a_2 , d , e_{s1} , e_{s2} , A_{s1} oraz A_{s2}). Po obliczeniu mimośrodu e_{tot} według wzoru (5.59), rzeczywiste mimośrody $e_{s1,prov}$ i $e_{s2,prov}$ siły podłużnej ściskającej N_{Sd} względem osi ciężkości przekrojów zbrojeń: ściskanego A_{s2} i rozciąganego A_{s1} , wyznaczamy na podstawie zależności

(5.64) i (5.65) wstawiając w nich $a_{1,prov}$ i $a_{2,prov}$ zamiast a_1 i a_2 . Przedstawiona niżej procedura obliczeniowa dotyczy wspólnie obu sposobów zbrojeń: niesymetrycznego i symetrycznego.

Postępowanie zgodne z zaleceniami zawartymi w normie [N1] wymaga sprawdzenia tzw. warunków nośności, czyli wyznaczenia obliczeniowej nośności przekroju na zginanie przy mimośrodowym ściskaniu (rys. 5.12)

$$M_{Rd1} = N_{Rd} e_{s1,prov} \quad (5.77)$$

lub

$$M_{Rd2} = N_{Rd} e_{s2,prov} \quad (5.78)$$

i porównania jej z eksploatacyjnym obciążeniem obliczeniowym przekroju w postaci momentu wywołanego obliczeniową siłą mimośrodowo ściskającą (rys. 5.12)

$$M_{Sd1} = N_{Sd} e_{s1,prov} \quad (5.79)$$

lub

$$M_{Sd2} = N_{Sd} e_{s2,prov} \quad (5.80)$$

W związku z tym najpierw wyznaczamy względną efektywną wysokość strefy ściskanej (z równania równowagi sił w przekroju)

$$\xi_{eff} = \frac{N_{Sd} + f_{yd} (A_{s1,prov} - A_{s2,prov})}{f_{cd} b d_{prov}} \quad (5.81)$$

Jeżeli $\xi_{eff} > \xi_{eff,lim}$, to dalsze obliczenia należy prowadzić jak dla przypadku małego mimośrodłu (patrz podrozdział 5.3.4.3).

Jeżeli natomiast $2a_{1,prov}/d_{prov} \leq \xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$, to nośność przekroju na zginanie przy mimośrodowym ściskaniu na dużym mimośrodku obliczamy ze wzoru (wynikającego z równania równowagi momentów zapisanego względem osi ciężkości przekroju zbrojenia rozciąganego)

$$M_{Rd1} = f_{cd} b d_{prov}^2 \xi_{eff} (1 - 0,5 \xi_{eff}) + f_{yd} A_{s2,prov} (d_{prov} - a_{2,prov}) \quad (5.82)$$

a stan graniczny nośności sprawdzamy z warunku

$$M_{Sd1} \leq M_{Rd1} \quad (5.83)$$

Jeśli zaś $\xi_{eff} < 2a_{2,prov}/d_{prov}$, to nośność wyznaczamy ze wzoru (wynikającego z równania równowagi momentów zapisanego względem osi ciężkości przekroju zbrojenia ściskanego, przy przyjęciu $\xi_{eff} = 2a_{2,prov}/d_{prov}$.

$$M_{Rd2} = f_{yd} A_{s1,prov} (d_{prov} - a_{2,prov}) \quad (5.84)$$

a stan graniczny nośności sprawdzamy według warunku

$$M_{Sd2} \leq M_{Rd2} \quad (5.85)$$

Alternatywny, tradycyjny [4], sposób wyznaczania uośności wynika z oczywistego faktu, że w stanie równowagi granicznej siła podłużna N_{Sd} obciążająca przekrój i siła N_{Rd} stanowiąca reakcję przekroju na to obciążenie, muszą się znajdować na tym samym poziomie (rys. 5.12), a więc działają one na tym samym mimośrodku $e_{s1,prov}$ lub $e_{s2,prov}$. W związku z tym sprawdzanie stanu granicznego nośności można sprowadzić do jednego tylko warunku

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} \quad (5.86)$$

w którym N_{Sd} jest obliczeniową siłą podłużną obciążającą przekrój, a N_{Rd} - obliczeniową nośnością przekroju z uwagi na siłę podłużną ściskającą.

Przy takim podejściu względną efektywną wysokość strefy ściskanej przekroju określamy z równania równowagi momentów zapisanego względem punktu O_N (rys. 5.12) przyłożenia siły podłużnej N_{Sd} (także N_{Rd}), jako

$$\xi_{eff} = (1 - k_e) + \sqrt{(1 - k_e)^2 + \frac{2 f_{yd} (A_{s1,prov} e_{s1,prov} \pm A_{s2,prov} e_{s2,prov})}{f_{cd} b d_{prov}^2}} \quad (5.87)$$

gdzie:

$$k_e = e_{s1,prov} / d_{prov} \quad (5.88)$$

We wzorze (5.87) należy przyjmować w liczniku ułamka pod pierwiastkiem znak „plus”, gdy siła N_{Sd} znajduje się pomiędzy osiami ciężkości przekrojów zbrojeń $A_{s1,prov}$ i $A_{s2,prov}$, to znaczy gdy $e_{s1,prov} < d_{prov} - a_{2,prov}$, zaś w przeciwnym przypadku, to znaczy gdy $e_{s1,prov} > d_{prov} - a_{2,prov}$ - znak „minus”.

Obliczeniową nośność przekroju z uwagi na siłę podłużną określa się w tym sposobie następująco:

- dla przypadku gdy $2a_{2,prov} / d_{prov} \leq \xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$ nośność tę obliczamy z równania równowagi sił w przekroju jako

$$N_{Rd} = f_{cd} b d_{prov} \xi_{eff} + f_{yd} (A_{s2,prov} - A_{s1,prov}) \quad (5.89)$$

- dla przypadku gdy $\xi_{eff} < 2a_{2,prov} / d_{prov}$, nośność tę wyznaczamy z zależności

$$N_{Rd} = \frac{M_{Rd2}}{e_{s2,prov}} \quad (5.90)$$

w której M_{Rd2} wyraża się zależnością (5.84).

Przykład 5.9. Wymiarowanie niesymetrycznie zbrojonego przekroju prostokątnego w monolitycznym elemencie ściskany na dużym mimośrodzie.

Dane: $M_{Sd} = 240$ kNm; $N_{Sd} = 315$ kN; $N_{Sd,lt} = 200$ kN; beton klasy B25; stal klasy A-II

Przyjęto: $\alpha_{cc} = 1,0$; $f_{cd} = 13,3$ MPa oraz $E_{cm} = 30$ GPa (z tabl. 3.2);

$f_{yd} = 310$ MPa (z tabl. 3.4); $F_s = 200$ GPa; $\xi_{ent,lim} = 0,55$

(z tabl. 5.1); $b = 0,25$ m; $h = 0,55$ m; 2 pełne warstwy prętów rozciąganych $\phi = 18$ mm i 1 warstwę prętów ściskanych

$\phi = 14$ mm oraz strzemiona $\phi_s = 6$ mm; klasę ekspozycji XC2 (tabl. 2.3); $c_{min} = 20$ mm (tabl. 2.4); $\Delta c = 5$ mm; $\phi(\sigma, t_0) = 2,0$; $l_0 = l_{ent} = 6,0$ m, konstrukcję monolityczną o węzłach nieprzesuwanych

Obliczamy kolejno:

- odległość osi ciężkości zbrojenia A_{s1} od rozciąganej krawędzi przekroju

$$(rys. 5.2 i 5.12)$$

$$a_1 = c_{min} + \Delta c + \phi_s + \phi + 0,5s_1 = 0,020 + 0,005 + 0,006 + 0,018 + 0,5 \cdot 0,020 = 0,059 \text{ m,}$$

- odległość osi ciężkości zbrojenia A_{s2} od ściskanej krawędzi przekroju

$$(rys. 5.2 i 5.12)$$

$$a_2 = c_{min} + \Delta c + \phi_s + 0,5\phi = 0,020 + 0,005 + 0,006 + 0,5 \cdot 0,014 = 0,038 \text{ m,}$$

- niezamierzony mimośród przypadkowy

$$e_3 = \max(l_{cd} / 600 = 6,0 / 600 = 0,01 \text{ m}; h / 30 = 0,55 / 30 = 0,018 \text{ m}; 0,01 \text{ m}) = 0,018 \text{ m,}$$

- mimośród konstrukcyjny wg (5.54)

$$e_c = M_{Sd} / N_{Sd} = 240 / 315 = 0,762 \text{ m,}$$

- mimośród początkowy wg (5.58)

$$e_0 = e_c + e_a = 0,762 + 0,018 = 0,78 \text{ m.}$$

Ponieważ smukłość elementu $\lambda = l_0 / h = 6,0 / 0,55 = 10,91 > 7$, zatem musimy uwzględnić w obliczeniach wpływ tej smukłości. W tym celu najpierw sprawdzamy warunek (5.62)

$$e_{n0} / h = 0,78 / 0,55 = 1,42 > 0,50 - 0,01 l_0 / h - 0,01 f_{ed} = 0,50 - 0,01 \cdot 6,0 / 0,55 - 0,01 \cdot 13,3 = 0,26 > 0,05,$$

a następnie obliczamy:

- współczynnik uwzględniający długość obciążenia wg (5.63)

$$k_{lt} = 1 + 0,5 \frac{N_{Sd,lt}}{N_{Sd}} \varphi(\infty, t_0) = 1 + 0,5 \cdot \frac{200}{315} \cdot 2,0 = 1,635,$$

- moment bezwładności przekroju betonu

$$I_c = b h^3 / 12 = 0,25 \cdot 0,55^3 / 12 = 0,003466 \text{ m}^4,$$

- moment bezwładności przekroju całej stali zbrojeniowej przyjmujemy w przybliżeniu jako

$$I_s \approx 0,03 I_c = 0,03 \cdot 0,003466 \text{ m}^4 = 0,000104 \text{ m}^4,$$

- siłę krytyczną wg (5.61)

$$N_{ent} = \frac{9}{l_0^2} E_{cm} I_c \left[\frac{0,11}{0,1 + \frac{e_0}{h}} + 0,1 \right] + E_s I_s =$$

$$= \frac{9}{6,0^2} \left[\frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,003466}{2 \cdot 1,635} \left(\frac{0,11}{0,1 + \frac{0,78}{0,55}} + 0,1 \right) + 200 \cdot 10^6 \cdot 0,000104 \right] =$$

$$= 6570,94 \text{ kN,}$$

- współczynnik zwiększający wg (5.60)

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N_{Sd}}{N_{ent}}} = \frac{1}{1 - \frac{315}{6570,94}} = 1,050,$$

- mimośród całkowity wg (5.59)

$$e_{int} = \eta e_0 = 1,050 \cdot 0,78 = 0,819 \text{ m.}$$

Następnie obliczamy:

- wysokość użyteczną przekroju

$$d = h - a_1 = 0,55 - 0,059 = 0,491 \text{ m,}$$

- położenie osi ciężkości elementu

$$y_1 = y_2 = 0,5h = 0,5 \cdot 0,55 = 0,275 \text{ m},$$

- mimośrodowość siły podłużnej wg (5.64) i (5.65)

$$e_{s1} = e_{\text{out}} + y_1 - a_1 = 0,819 + 0,275 - 0,059 = 1,035 \text{ m},$$

$$e_{s2} = |e_{\text{out}} - y_2 + a_2| = |0,819 - 0,275 + 0,038| = 0,582 \text{ m},$$

- pole przekroju zbrojenia ściskanego wg (5.66)

$$N_{sd} e_{s1} - f_{cd} b d^2 \xi_{\text{eff,lim}} (1 - 0,5 \xi_{\text{eff,lim}}) =$$

$$f_{yd} (d - a_2)$$

$$= \frac{315 \cdot 1,035 - 13300 \cdot 0,25 \cdot 0,491^2 \cdot 0,55 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,55)}{310000 \cdot (0,491 - 0,038)} = 0,000455 \text{ m}^2.$$

Przyjmujemy, stosownie do warunku (5.67), 2 pręty o średnicy 14 mm w

1 warstwie o łącznym polu przekroju $A_{s2,prov} = 2 \cdot \pi \cdot 0,014^2 / 4 = 0,000308 \text{ m}^2$

oraz $a_{2,prov} = a_2 = 0,038 \text{ m}^2$.

Ponieważ $A_{s1,prov} = 0,000308 \text{ m}^2 > A_{s2} = 0,0000441 \text{ m}^2$, strefa ściskana przekroju nie będzie w pełni wykorzystana i w związku z tym obliczamy dalej: - współczynnik bezwymiaryowy wg (5.69)

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{N_{sd} e_{s1} - f_{yd} A_{s2,prov} (d - a_{2,prov})}{f_{cd} b d^2} =$$

$$= \frac{315 \cdot 1,035 - 310000 \cdot 0,000308 \cdot (0,491 - 0,038)}{13300 \cdot 0,25 \cdot 0,491^2} = 0,353,$$

- względną efektywną wysokość strefy ściskanej przekroju wg (5.6)

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \xi_{\text{eff}}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,353} = 0,458.$$

Ponieważ

$$2a_{2,prov} / d = 2 \cdot 0,038 / 0,491 = 0,155 < \xi_{\text{eff}} = 0,458 < \xi_{\text{eff,lim}} = 0,55,$$

więc pole przekroju zbrojenia rozciąganego obliczamy wg (5.70)

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} b d \xi_{\text{eff}} + f_{yd} A_{s2,prov} - N_{sd}}{f_{yd}} =$$

$$= \frac{13300 \cdot 0,25 \cdot 0,491 \cdot 0,458 + 310000 \cdot 0,000308 - 315}{310000} = 0,001704 \text{ m}^2.$$

Przyjmujemy, stosownie do warunku (5.72), 7 prętów o średnicy 18 mm ($n_1 = 5$ prętów w pierwszej, dolnej warstwie i $n_2 = 2$ pręty w warstwie drugiej) i łącznym polu przekroju $A_{s1,prov} = 7 \cdot \pi \cdot 0,018^2 / 4 = 0,001781 \text{ m}^2$. Odległość

osi ciężkości przekroju tego zbrojenia od rozciąganej krawędzi przekroju,

wyznaczona wg wzoru (5.9), wynosi $a_{1,prov} = 0,051 \text{ m}$, a wynikająca stąd rzeczywista wysokość użyteczna przekroju $d_{\text{prov}} = h - a_{1,prov} = 0,55 - 0,051 = 0,499 \text{ m}$. Ponieważ $d_{\text{prov}} = 0,499 \text{ m}$ jest większe od przyjętego na wstępie $d = 0,491 \text{ m}$, korekta obliczeń jest zbędna (patrz przykład 5.1).

Sprawdzamy, wg (5.73), czy pole przyjętego zbrojenia mieści się w granicach wyznaczonych przez normę [N1]:

$$0,04bh = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 0,0055 \text{ m}^2 > A_{s1,prov} + A_{s2,prov} =$$

$$= 0,001781 + 0,000308 = 0,002089 \text{ m}^2 > A_{s,lim} = \max(0,15 \frac{N_{sd}}{f_{yd}} =$$

$$= 0,15 \cdot \frac{315}{310000} = 0,000152 \text{ m}^2; 0,003bh = 0,003 \cdot 0,25 \cdot 0,55 =$$

$$= 0,000413 \text{ m}^2) = 0,000413 \text{ m}^2.$$

Obliczamy nową wartość momentu bezwładności dla całego przyjętego zbrojenia

$$I_{s,prov} = A_{s1,prov} (0,5h - a_{1,prov})^2 + A_{s2,prov} (0,5h - a_{2,prov})^2 =$$

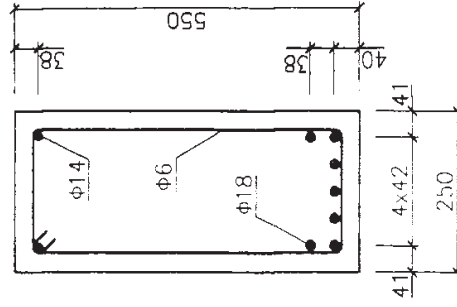
$$= 0,001781 \cdot (0,5 \cdot 0,55 - 0,051)^2 + 0,000308 \cdot$$

$$\cdot (0,5 \cdot 0,55 - 0,038)^2 = 0,0001067 \text{ m}^4$$

$$\text{Ponieważ } I_{s,prov} / I =$$

$$= 0,0001067 / 0,0001040 = 1,026 < 1,05$$

(błąd mniejszy od 5%, patrz podrozdział 5.3.3), nie zachodzi konieczność ponownego obliczenia wartości siły krytycznej N_{crit} i korygowania całych obliczeń.



Rys. 5.13. Przekrój prostokątny niesymetrycznie zbrojonego elementu mimośrodowo ściskanego na dłużym mimośrodkzie, obliczony w przykładzie 5.9

Przykład 5.10. Wyznaczenie nośności i sprawdzenie warunku nośności dla niesymetrycznie zbrojonego przekroju prostokątnego w monolitycznym elemencie ściskany na dużym mimośrodzie.

Obliczenia przeprowadza się dla następujących danych z przykładu 5.9:
 $M_{Sd} = 240$ kNm; $N_{Sd} = 315$ kN; $N_{Sd,ik} = 200$ kN; beton klasy B25; stal klasy A-II; $b = 0,25$ m; $h = 0,55$ m; $e_0 = 0,018$ m; $a_{1,prov} = 0,051$ m; $a_{2,prov} = 0,038$ m; $A_{s1,prov} = 0,001781$ m²; $A_{s2,prov} = 0,000308$ m²; $l_0 = l_{ed} = 6,0$ m, konstrukcja monolityczna o węzłach nieprzesuwanych.

Przyjęto: $\alpha_{cc} = 1,0$; $f_{cd} = 13,3$ MPa oraz $E_{cm} = 30$ GPa (z tabl. 3.2); $f_{yd} = 310$ MPa (z tabl. 3.4); $E_s = 200$ GPa; $\xi_{eff,lim} = 0,55$ z tabl. 5.1); $\phi(\sigma, t_0) = 2,0$;

Według sposobu proponowanego przez normę [N1] obliczamy kolejno:

- mimośród konstrukcyjny wg (5.54)

$$e_c = M_{Sd} / N_{Sd} = 240 / 315 = 0,762 \text{ m,}$$

- mimośród początkowy wg (5.58)

$$e_0 = e_c + e_a = 0,762 + 0,018 = 0,78 \text{ m.}$$

Ponieważ smukłość elementu $\lambda = l_0 / h = 6,0 / 0,55 = 10,91 > 7$, zatem musimy uwzględnić w obliczeniach wpływ tej smukłości. W tym celu najpierw sprawdzamy warunek (5.62)

$$e_n / h = 0,78 / 0,55 = 1,42 > 0,50 - 0,011 \cdot l_0 / h = 0,01 f_{cd} = 0,50 - 0,01 \cdot 6,0 / 0,55 = 0,01 \cdot 13,3 = 0,26 > 0,05,$$

a następnie obliczamy:

- współczynnik uwzględniający długość i wartość obciążenia wg (5.63)

$$k_{ft} = 1 + 0,5 \frac{N_{Sd,ik}}{N_{Sd}} \phi(\sigma, t_0) = 1 + 0,5 \cdot \frac{200}{315} \cdot 2,0 = 1,635,$$

- moment bezwładności przekroju betonu

$$I_c = b h^3 / 12 = 0,25 \cdot 0,55^3 / 12 = 0,003466 \text{ m}^4,$$

- moment bezwładności przekroju całej stali zbrojeniowej

$$I_s = A_{s1,prov} (0,5h - a_{1,prov})^2 + A_{s2,prov} (0,5h - a_{2,prov})^2 = 0,001781 \cdot (0,5 \cdot 0,55 - 0,051)^2 + 0,000308 \cdot (0,5 \cdot 0,55 - 0,038)^2 = 0,0001067 \text{ m}^4.$$

- siłę krytyczną wg (5.61), która obliczona w sposób analogiczny jak w przykładzie 5.9, wynosi $N_{crit} = 6706,00$ kN,

- współczynnik zwiększający wg (5.60)

$$\eta = \frac{1 - \frac{N_{Sd}}{N_{crit}}}{1 - \frac{315}{6706,00}} = 1,049,$$

- mimośród całkowity wg (5.59)

$$e_{tot} = \eta e_0 = 1,049 \cdot 0,78 = 0,818 \text{ m.}$$

Następnie obliczamy:

- wysokość użyteczną przekroju $d_{prov} = h - a_{1,prov} = 0,55 - 0,051 = 0,499$ m,

- położenie osi ciężkości elementu

$$y_1 = y_2 = 0,5h = 0,5 \cdot 0,55 = 0,275 \text{ m,}$$

- mimośrodowość podłużną wg (5.64) i (5.65)

$$e_{s1,prov} = e_{tot} + y_1 - a_{1,prov} = 0,819 + 0,275 - 0,051 = 1,042 \text{ m,}$$

$$e_{s2,prov} = |e_{tot} - y_2 + a_{2,prov}| = |0,818 - 0,275 + 0,038| = 0,581 \text{ m,}$$

- względną efektywną wysokość strefy ściskanej wg (5.81)

$$\xi_{eff} = \frac{N_{Sd} + f_{yd} (A_{s1,prov} - A_{s2,prov})}{f_{cd} b d_{prov}} = \frac{315 + 310000 \cdot (0,001781 - 0,000308)}{13300 \cdot 0,25 \cdot 0,499} = 0,465$$

Ponieważ zachodzi przypadek $2 a_{s,prov} / d_{prov} = 2 \cdot 0,038 / 0,499 = 0,152 <$

$< \xi_{eff} = 0,465 < \xi_{eff,lim} = 0,55$, to obliczeniową nośność przekroju na zginanie przy mimośrodowym ściskaniu na dużym mimośrodku obliczamy ze wzoru (5.82)

$$M_{Rd1} = f_{cd} b d_{prov}^2 \xi_{eff} (1 - 0,5 \xi_{eff}) + f_{yd} A_{s2,prov} (d_{prov} - a_{2,prov}) = 13300 \cdot 0,25 \cdot 0,499^2 \cdot 0,465 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,465) + 310000 \cdot 0,000308 \cdot (0,499 - 0,038) = 339,59 \text{ kNm,}$$

a warunek nośności zapisujemy wg (5.79) i (5.83) jako

$$M_{Sd1} = N_{Sd1} e_{s1,prov} = 315 \cdot 1,042 = 328,23 \text{ kNm} < M_{Rd1} = 339,59 \text{ kNm,}$$

stwierdzając, że został spełniony.

Według sposobu tradycyjnego [4] obliczamy kolejno:

- wielkości: e_c , e_0 , e_d/h , k_{ft} , I_c , I_s , N_{crit} , η , e_{tot} , d_{prov} , $e_{s1,prov}$ oraz $e_{s2,prov}$ - w sposób identyczny jak w przedstawionym wyżej sposobie, proponowanym przez normę [N1],

- współczynnik wg (5.88)

$$k_c = e_{s1,prov} / d_{prov} = 1,042 / 0,499 = 2,088,$$

- względną efektywną wysokość strefy ściskanej wg (5.87), wstawiając znak „minus” pod pierwiastkiem gdyż $e_{s1,prov} = 1,042 \text{ m} > d_{prov} - a_{2,prov} = 0,499 - 0,038 = 0,461 \text{ m}$

$$\xi_{eff} = (1 - k_c) + \sqrt{(1 - k_c)^2 + \frac{2 f_{yd} (A_{s1,prov} e_{s1,prov} \pm A_{s2,prov} e_{s2,prov})}{f_{cd} b d_{prov}^2}} = (1 - 2,088) + \sqrt{(1 - 2,088)^2 + \frac{2 \cdot 310000 \cdot (0,001781 \cdot 1,042 - 0,000308 \cdot 0,581)}{13300 \cdot 0,25 \cdot 0,499^2}} = 0,474.$$

Ponieważ zachodzi przypadek $2 a_{2,prov} / d_{prov} = 2 \cdot 0,038 / 0,499 = 0,152 < \xi_{eff} = 0,474 < \xi_{eff,lim} = 0,55$, to obliczeniową nośność przekroju z uwagi na siłę podłużną ściskającą obliczamy ze wzoru (5.89)

$$N_{kd} = f_{cd} b d_{prov} \xi_{eff} + f_{yd} (A_{s2,prov} - A_{s1,prov}) = 13300 \cdot 0,25 \cdot 0,499 \cdot 0,474 + 310000 \cdot (0,000308 - 0,001781) = 329,82 \text{ kN},$$

a warunek nośności zapisujemy wg (5.86) jako

$$N_{Sd} = 315 \text{ kN} < N_{kd} = 329,82 \text{ kN}, \text{ stwierdzając, że został spełniony.}$$

Przykład 5.11. Wymiarowanie symetrycznie zbrojonego przekroju prostokątnego w monolitycznym elemencie ściskanym na dłużym mimośrodzie.

Dane: $M_{Sd} = 300 \text{ kNm}$; $N_{Sd} = 350 \text{ kN}$; beton klasy B20; stal klasy A-II.

Przyjęto: $\alpha_{cc} = 1,0$; $f_{cd} = 10,6 \text{ MPa}$ (z tabl. 3.2); $f_{yd} = 310 \text{ MPa}$ (z tabl. 3.4); $\xi_{eff,lim} = 0,55$ (z tabl. 5.1); $b = 0,25 \text{ m}$; $h = 0,55 \text{ m}$; 2 pełne warstwy prętów rozciąganych i ściskanych $\phi = 18 \text{ mm}$ oraz szeregowa $\phi_s = 6 \text{ mm}$; klasę ekspozycji XC1 (tabl. 2.3); $e_{min} = \phi = 18 \text{ mm}$ (tabl. 2.4); $\Delta c = 7 \text{ mm}$; $l_0 = l_{ed} = 3,5 \text{ m}$, konstrukcję monolityczną o węzłach nieprzesuwnych

Obliczamy kolejno:

- odległość osi ciężkości przekrojów zbrojeń A_{s1} i A_{s2} od najbliższych krawędzi przekroju (rys. 5.2 i 5.12)

$$a_1 = a_2 = e_{min} + \Delta c + \phi_s + \phi + 0,5 s_1 = 0,018 + 0,007 + 0,006 + 0,018 + 0,5 \cdot 0,020 = 0,059 \text{ m},$$

- niezamierzony mimośród przypadkowy

$$e_a = \max(l_{ed} / 600 = 3,5 / 600 = 0,0058 \text{ m} ; h / 30 = 0,55 / 30 = 0,018 \text{ m} ; 0,01 \text{ m}) = 0,018 \text{ m},$$

- mimośród konstrukcyjny wg (5.54)

$$e_c = M_{Sd} / N_{Sd} = 300 / 350 = 0,857 \text{ m},$$

- mimośród początkowy wg (5.58)

$$e_0 = e_c + c_a = 0,857 + 0,018 = 0,875 \text{ m}.$$

Ponieważ smukłość elementu $\lambda = l_0 / h = 3,5 / 0,55 = 6,36 < 7$, zatem nie musimy uwzględniać wpływu tej smukłości w obliczeniach. Przyjmujemy więc $\eta = 1,0$ i obliczamy dalej:

- mimośród całkowity wg (5.59)

$$e_{tot} = \eta e_0 = 1,0 \cdot 0,875 = 0,875 \text{ m},$$

- wysokość użyteczną przekroju

$$d = h - a_1 = 0,55 - 0,059 = 0,491 \text{ m},$$

- położenie osi ciężkości elementu

$$y_1 = y_2 = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,55 = 0,275 \text{ m},$$

- mimośrodowość siły podłużnej wg (5.64) i (5.65)

$$e_{s1} = e_{tot} + y_1 - a_1 = 0,875 + 0,275 - 0,059 = 1,091 \text{ m},$$

$$e_{s2} = |e_{tot} - y_2 + a_2| = |0,875 - 0,275 + 0,059| = 0,659 \text{ m},$$

- względną efektywną wysokość strefy ściskanej wg (5.74)

$$\xi_{eff} = \frac{N_{Sd}}{f_{cd} b d} = \frac{350}{10600 \cdot 0,25 \cdot 0,491} = 0,269.$$

Ponieważ $2 a_2 / d = 2 \cdot 0,059 / 0,491 = 0,240 < \xi_{eff} = 0,269 < \xi_{eff,lim} = 0,55$,

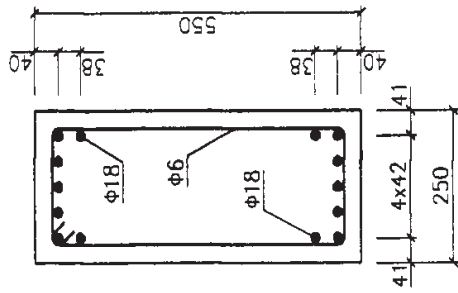
więc pola przekrojów zbrojeń obliczamy wg (5.75)

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{N_{Sd} e_{s1} - f_{cd} b d^2 \xi_{eff} (1 - 0,5 \xi_{eff})}{f_{yd} (d - a_2)} =$$

$$= \frac{350 \cdot 1,091 - 10600 \cdot 0,25 \cdot 0,491^2 \cdot 0,269 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,269)}{31000 \cdot (0,491 - 0,059)} = 0,001741 \text{ m}^2.$$

Przyjmujemy po obu stronach przekroju, stosownie do warunku (5.72), 7 prętów o średnicy 18 mm ($n_1 = 5$ prętów w pierwszej warstwie oraz $n_2 = 2$ pręty w warstwie drugiej) i łącznym polu przekroju $A_{s1,prov} = A_{s2,prov} = 7 \cdot \pi \cdot 0,018^2 / 4 = 0,001781 \text{ m}^2$.

Odległość osi ciężkości przekrojów tych zbrojeń od najbliższych krawędzi przekroju elementu, wyznaczona wg wzoru (5.9), wynosi $a_{1,prov} = a_{2,prov} = 0,051 \text{ m}$, a wynikająca stąd rzeczywista wysokość użyteczna przekroju $d_{prov} = h - a_{1,prov} = 0,55 - 0,051 = 0,499 \text{ m}$.



Rys. 5.14. Przekrój prostokątny symetrycznie zbrojony elementu mimośrodowo ściskanego na dłużym mimośrodku, obliczony w przykładzie 5.11

Ponieważ $d_{prov} = 0,499 \text{ m}$ jest większe od przyjętego na wstępnie $d = 0,491 \text{ m}$, korekta obliczeń jest zbędna (patrz przykład 5.1).

Sprawdzamy, wg (5.73), czy pole przyjętego zbrojenia mieści się w granicach wyznaczonych przez normę [N1]:

$$0,04bh = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 0,0055 \text{ m}^2 > A_{s1,prov} + A_{s2,prov} = 0,001781 + 0,001781 = 0,003562 \text{ m}^2 > A_{s,min} = \max \left(0,15 \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{350}{310000} = 0,0001694 \text{ m}^2; 0,003bh = 0,003 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 0,0004125 \text{ m}^2 \right) = 0,0004125 \text{ m}^2.$$

Uwaga: W przykładzie 5.11 nie podano sposobu wyznaczenia nośności przekroju zwymerowanego i sprawdzania warunku nośności, gdyż sposób ten jest identyczny z przedstawionym w przykładzie 5.10.

5.3.4. Przekrój prostokątny mimośrodowo ściskany – mały mimośród

Schemat obliczeniowy przekroju przedstawiono na rys. 5.15.

Do procedury obliczeń dotyczącej przypadku małego mimośrodu wprowadzono w normie [N1] współczynnik κ_s sterujący naprężeniami σ_{s1} w zbrojeniu A_{s1} , rozciągającym lub mniej ściskanym (rys. 5.15 b, c) wg zależności (5.91)

$$\sigma_s = \kappa_s f_{yd} \quad (5.91)$$

Współczynnik κ_s wyrażony równaniem (5.3), którego wykres pokazano na rys. 5.15c, zależy od względnej efektywnej wysokości ξ_{eff} strefy ściskanej przekroju co – jak wykazały badania eksperymentalne – jest zgodne z rzeczywistym rozkładem sił, jaki ma miejsce w chwili wyczerpania nośności przekroju ściskanego z małym mimośrodem. Zniszczenie takiego przekroju zaczyna się bowiem zawsze od strony zbrojenia ściskanego o polu przekroju A_{s2} . Naprężenia σ_{s1} występujące w zbrojeniu o polu przekroju A_{s1} przy $\xi_{eff} = \xi_{eff,lim}$, osiągają wartość graniczną $\sigma_{s1} = f_{sd}$, natomiast gdy ξ_{eff} przekracza wartość graniczną $\xi_{eff,lim}$, następuje najpierw stopniowy spadek wartości naprężeń rozciągających, a następnie – po osiągnięciu wartości ξ_{eff} , przy której naprężenia σ_{s1} są równe zero – stopniowy wzrost naprężeń ściskających do wartości $\sigma_{s1} = -f_{yd}$, przy $\xi_{eff} = 1$ (patrz rys. 5.15c).

Jak wynika ze wzoru (5.3) w przypadku małego mimośrodu rozróżnia się trzy jego odmiany:

odmiana I – gdy $\xi_{eff,lim} < \xi_{eff} < 1$ to znaczy w przekroju występuje mała strefa rozciągana,

odmiana II – gdy $1 \leq \xi_{eff} \leq h/d$ to znaczy cały przekrój użyteczny (o wysokości d) lub rzeczywisty (o wysokości h) jest nierównomiernie ściskany,

odmiana III – gdy $\xi_{eff} > h/d$ to znaczy cały przekrój jest równomiernie ściskany.

W przekroju mimośrodowo ściskanym na małym mimośrodku najczęściej przyjmuje się minimalną ilość zbrojenia rozciągającego lub mniej ściskanego, w związku z czym w powyższych odmianach występuje d_{prov} zamiast d (patrz podrozdział 5.3.4.1).

W obliczeniach dotyczących przypadku małego mimośrodru zawsze na wstępie zakłada się istnienie odmianny I, gdyż na podstawie wartości mimośrodru e_{s1} siły podłużnej N_{sd} wytypowanie prawidłowej odmianny mimośrodowego ściskania jest praktycznie niemożliwe.

W przekroju żelbetowym prostokątnym mimośrodkowo ściskanym małym mimośrodkie (rys. 5.15) podstawowe równania równowagi, prowadzone do postaci bezwymiarowej, przedstawiają się następująco:

– równanie równowagi momentów zapisane względem osi ciężkości przekroju zbrojenia A_{s1} :

$$\xi_{eff} (1 - 0,5 \xi_{eff}) + \frac{f_{yd} A_{s2} \left(1 - \frac{a_2}{d}\right)}{f_{cd} b d} - \frac{N_{sd} e_{s1}}{f_{cd} b d^2} = 0 \quad (5.92)$$

– równanie równowagi momentów zapisane względem osi ciężkości przekroju zbrojenia A_{s2} :

$$-\xi_{eff} \left(0,5 \xi_{eff} - \frac{a_2}{d}\right) + \kappa_s \frac{f_{yd} A_{s1} \left(1 - \frac{a_2}{d}\right)}{f_{cd} b d} + \frac{N_{sd} e_{s2}}{f_{cd} b d^2} = 0 \quad (5.93)$$

– równanie równowagi sił w przekroju:

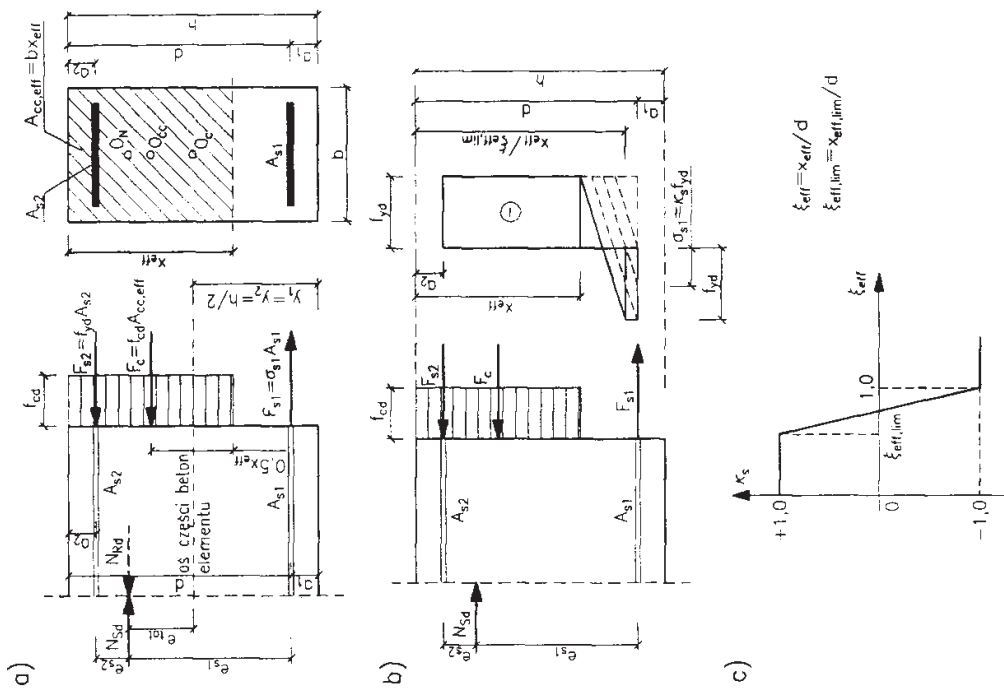
$$-\xi_{eff} + \frac{1}{f_{cd} b d} (\kappa_s f_{yd} A_{s1} - f_{yd} A_{s2} + N_{sd}) = 0 \quad (5.94)$$

Mimośrodek e_{s1} występujący w równaniu (5.92) wyznacza się z zależności (5.64), a mimośrodek e_{s2} występujący w równaniu (5.93) – z zależności (5.65).

5.3.4.1. Wymiarowanie zbrojenia niesymetrycznego

Przypadek małego mimośrodru wylania się z obliczeń rozpoczynanych zawsze na wstępie jak dla przypadku dużego mimośrodru, gdy otrzymamy z nich $A_{s1} < 0$ lub $\xi_{eff} > \xi_{eff,lim}$ (podrozdział 5.3.3.1). W przypadku tym, najpierw przyjmujemy, że pole przekroju zbrojenia rozciąganego lub mniej ściskanego A_{s1} jest równe minimalnej wartości $A_{s1,min}$, którą proponuje się przyjmować jako równą połowie minimalnego przekroju $A_{s,min}$ wymaganego przez normę [N1], czyli

$$A_{s1} = A_{s1,min} = \max \left(0,075 \frac{N_{sd}}{f_{yd}}; 0,0015 b h \right) \quad (5.95)$$



Rys. 5.15. Oznaczenia wielkości geometrycznych, sił i naprężeń w przekroju żelbetowym prostokątnym mimośrodkowo ściskanym w przypadku małego mimośrodru: a) układ granicznych sił wewnętrznych i naprężeń w betonowej strefie ściskanej, b) rozkład naprężeń σ_s w całej stali zbrojeniowej znajdującącej się w przekroju wynikający z założeń 5.1e i 5.1f, c) wykres funkcji $\kappa_s = f(\xi_{eff})$ współczynnika sterującego naprężeniami σ_{s1} w stali rozciąganej lub mniej ściskanej, wg zależności (5.3)

Po doborze prętów zbrojeniowych o polu przekroju $A_{s1,prov} \geq A_{s1}$ wyznaczamy $a_{1,prov}$ (jak w podrozdziale 5.2.1), $d_{prov} = h - a_{1,prov}$ oraz $e_{s1,prov}$ wg (5.64).

Następnie, z równania (5.93) – po założeniu istnienia odmiany I i podstawię w nim κ_s wg (5.3) dla tej odmiany oraz wielkości: $A_{s1,prov}$, $a_{1,prov}$ oraz d_{prov} zamiast A_{s1} , a_1 oraz d – otrzymujemy następujący wzór określający względną efektywną wysokość strefy ściskanej przekroju

$$\xi_{eff} = P + \sqrt{P^2 + \frac{2 \left[N_{sd} e_{s2} (1 - \xi_{eff,lim}) + f_{yd} A_{s1,prov} (d_{prov} - a_2) \right] (1 + \xi_{eff,lim})}{d_{prov}^2 (1 - \xi_{eff,lim})} f_{ed} b} \quad (5.96)$$

w którym

$$P = k_a - \frac{2 f_{yd} A_{s1,prov} (d_{prov} - a_2)}{f_{ed} b d_{prov}^2 (1 - \xi_{eff,lim})} \quad (5.97)$$

$$k_a = a_2 / d_{prov} \quad (5.98)$$

Kolejną czynnością – po obliczeniu wartości κ_s wg (5.3) dla odmiany I – jest przeprowadzenie analizy wartości ξ_{eff} otrzymanej ze wzoru (5.96).

Jeżeli $\xi_{eff,lim} < \xi_{eff} < 1$, to mamy rzeczywiście do czynienia z założoną na wstępie odmianą I mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku i pole przekroju zbrojenia bardziej ściskanego wyznaczamy z równania (5.94) jako

$$A_{s2} = - \frac{\xi_{eff} f_{ed} b d_{prov}}{f_{yd}} + \kappa_s A_{s1,prov} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}} \quad (5.99)$$

Jeżeli $1 \leq \xi_{eff} \leq h / d_{prov}$, to mamy do czynienia z odmianą II mimośrodo-owego ściskania na małym mimośrodku i wtedy ponownie określamy względną efektywną wysokość strefy ściskanej przekroju z równania (5.93) przy przyjęciu w nim $\kappa_s = -1$ otrzymując następujący wzór:

$$\xi_{eff} = k_a + \sqrt{k_a^2 + \frac{2 \left[N_{sd} e_{s2} - f_{yd} A_{s1,prov} (d_{prov} - a_2) \right]}{f_{ed} b d_{prov}^2}} \quad (5.100)$$

w którym k_a wyznacza się ze wzoru (5.98). Pole A_{s2} przekroju zbrojenia bardziej ściskanego obliczamy ze wzoru (5.99), przyjmując w nim $\kappa_s = -1$.

Jeżeli natomiast $\xi_{eff} > h / d_{prov}$, to zachodzi odmiana III mimośrodo-owego ściskania na małym mimośrodku i wtedy pole przekroju zbrojenia mniej ściskanego wyznaczamy ponownie z równania (5.93) – po przyjęciu w nim $\kappa_s = -1$ oraz $\xi_{eff} = h / d_{prov}$ – jako

$$A_{s1} = \frac{N_{sd} e_{s2} + f_{ed} b h (0,5 h - a_2)}{f_{yd} (d_{prov} - a_2)} \quad (5.101)$$

Po dobraniu prętów zbrojeniowych o polu przekroju $A_{s1,prov}$ ustalamy nowe wartości $a_{1,prov}$ oraz d_{prov} i pole A_{s2} przekroju zbrojenia bardziej ściskanego wyznaczamy z zależności (5.99) z uwzględnieniem $\kappa_s = -1$.

Dobór i rozmieszczenie w przekroju żelbetowym prętów zbrojeniowych o polu przekroju $A_{s2,prov}$, a także wyznaczenie $a_{2,prov}$ odbywa się z zachowaniem wymagań normy [N1], w sposób opisany w podrozdziale 5.3.3.1.

5.3.4.2. Wymiarowanie zbrojenia symetrycznego

Przy stosowaniu zbrojenia symetrycznego, czyli $A_{s1} = A_{s2}$ oraz $a_1 = a_2$, które znajduje szczególne uzasadnienie w przypadku ściskania na małym mimośrodku, nie ma potrzeby rozróżniania odmian II i III.

Względnie efektywną wysokość ξ_{eff} strefy ściskanej przekroju określamy tu z równania (5.94), podstawiając w nim pole A_{s2} wyznaczone z równania (5.92) oraz uwzględniając, że $A_{s1} = A_{s2}$. Otrzymujemy w ten sposób następujące równanie trzeciego stopnia z niewiadomą ξ_{eff} :

$$\xi_{eff}^3 - (2 + \xi_{eff,lim}) \xi_{eff}^2 + \left[(1 + \xi_{eff,lim}) - \frac{a_2^2 (1 - \xi_{eff,lim})}{d} \right] \xi_{eff} - B \xi_{eff,lim} - C (1 - \xi_{eff,lim}) = 0 \quad (5.102)$$

w którym

$$B = \frac{2 N_{sd} e_{s1}}{f_{ed} b d^2} \quad (5.103)$$

$$C = \frac{N_{sd}(d - a_2)}{f_{cd} b d^2} \quad (5.104)$$

Rzeczy i akceptowalny pierwiastek ξ_{eff} równania (5.102) najłatwiej i najszybciej można otrzymać metodą prób za pomocą kalkulatora. Po uzyskaniu ξ_{eff} przeprowadzamy analizę jego wartości.

Jeżeli $\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$, to wymiarowanie zbrojenia należy przeprowadzić jak dla przypadku dużego mimośrodowo (podrozdział 5.3.3.1).

Jeżeli $\xi_{eff,lim} < \xi_{eff} < 1$, to pole przekroju zbrojenia symetrycznego obliczamy z równania (5.92) jako

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{N_{sd} e_{sl} - f_{cd} b d^2 \xi_{eff} (1 - 0,5 \xi_{eff})}{f_{yd} (d - a_2)} \quad (5.105)$$

Jeżeli natomiast $\xi_{eff} \geq 1$, to strefa ściskana obejmuje co najmniej cały przekrój użyteczny o wysokości d , a obie siły wypadkowe w zbrojeniach o polu przekroju A_{s1} i A_{s2} są jednakowe i ściskające. Wynika stąd, że spowodowane tymi siłami momenty zginające – zapisane względem prostej przechodzącej przez środek O_c ciężkości przekroju betonowego (rys. 5.15a) równoległe do osi obojętnej – równoważą się (ich suma jest równa zeru). W związku z tym – po przyjęciu dla uproszczenia, że cały przekrój rzeczywisty (o wysokości h) jest ściskany – równanie równowagi momentów zapisane względem ww. prostej przybiera postać:

$$N_{sd} e_{tot} - f_{cd} b d^2 \xi_{eff} \left(0,5 \frac{h}{d} - 0,5 \xi_{eff} \right) = 0 \quad (5.106)$$

Akceptowalnym pierwiastkiem kwadratowego równania (5.106) jest

$$\xi_{eff} = \frac{h}{2d} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{8 N_{sd} e_{tot}}{f_{cd} b h^2}} \right) \quad (5.107)$$

Jeżeli we wzorze (5.107) wyrażenie pod pierwiastkiem drugiego stopnia okaże się mniejsze od zera albo też $\xi_{eff} > h/d$, to oznacza to, że nie można wymiarować przekroju prostokątnego jako symetrycznie zbrojonego. W przeciwnym przypadku pola przekrojów zbrojenia symetrycznego oblicza się z równania (5.94) przy przyjęciu $\kappa_s = -1$ – jako

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{N_{sd} - f_{cd} b d \xi_{eff}}{2 f_{yd}} \quad (5.108)$$

Dobór i rozmieszczanie prętów zbrojeniowych o polach przekroju $A_{s1,prov}$ i $A_{s2,prov}$ oraz wyznaczanie $a_{1,prov}$, $a_{2,prov}$ i d_{prov} odbywa się wg zasad przedstawionych w podrozdziale 5.3.4.1 dla zbrojenia niesymetrycznego.

5.3.4.3. Nośność przekroju

Nośność wyznaczamy zwykle dla przekroju istniejącego (lub tuż po jego zaprojektowaniu, gdy $d_{prov} < d$), o znanych parametrach geometryczno-wytrzymałościowych (patrz podrozdział 5.3.3.3 oraz rys. 5.15, przy uwzględnieniu w nim $a_{1,prov}$, $a_{2,prov}$, d_{prov} , $e_{s1,prov}$, $e_{s2,prov}$, $A_{s1,prov}$ oraz $A_{s2,prov}$ zamiast a_1 , a_2 , d , e_{s1} , e_{s2} , A_{s1} oraz A_{s2}).

Postępowanie zgodne z zaleceniami zawartymi w normie [N1] wymaga sprawdzenia tzw. warunku nośności, czyli wyznaczenia obliczeniowej nośności M_{Rd1} przekroju na zginanie przy mimośrodowym ściskaniu na małym mimośrodku (rys. 5.15a), według zależności (5.77) i porównania jej z obliczeniowym obciążeniem przekroju w postaci momentu M_{sd1} spowodowanego obciążeniową siłą podłużną ściskającą (rys. 5.15a), według zależności (5.79).

Przed wyznaczeniem nośności M_{Rd1} wstępnie przyjmujemy istnienie odmiany I i określamy względną efektywną wysokość przekroju z równania (5.94), po wstawieniu w nim κ_s wg (5.3) dla tej odmiany:

$$\xi_{eff} = \frac{(N_{sd} - f_{yd} A_{s1,prov} - f_{yd} A_{s2,prov}) (1 - \xi_{eff,lim}) + 2 f_{yd} A_{s1,prov}}{f_{cd} b d_{prov} (1 - \xi_{eff,lim}) + 2 f_{yd} A_{s1,prov}} \quad (5.109)$$

a następnie dokonujemy analizy otrzymanej wartości ξ_{eff} .

Jeżeli $\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$, to dalsze obliczenia należy prowadzić jak dla przypadku dużego mimośrodowo (patrz podrozdział 5.3.3.3).

Jeżeli natomiast $\xi_{eff,lim} < \xi_{eff} < 1$, to mamy rzeczywiste do czynienia z odmianą I mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku i nośność M_{Rd1} obliczamy z równania równowagi momentów zapisanego względem osi ciężkości przekroju zbrojenia A_{s1} (rys. 5.15):

$$M_{Rd1} = f_{cd} b d_{prov}^2 \xi_{eff} (1 - 0,5 \xi_{eff}) + f_{yd} A_{s2,prov} (d_{prov} - a_{2,prov}) \quad (5.110)$$

a stan graniczny nośności sprawdzamy z warunku (5.83), przy uwzględnieniu (5.79).

Jeżeli $1 \leq \xi_{\text{eff}} \leq h/d_{\text{prov}}$, to mamy do czynienia z odmianą II mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku. Wtedy powtórnie określamy względną efektywną wysokość strefy ściskanej z równania (5.94), uwzględniając w nim $\kappa_s = -1$ oraz $A_{s1, \text{prov}}$ i $A_{s2, \text{prov}}$ zamiast A_{s1} i A_{s2} w efekcie czego otrzymujemy następujący wzór:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{N_{\text{sd}} - f_{\text{yd}} (A_{s1, \text{prov}} + A_{s2, \text{prov}})}{f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}}} \quad (5.111)$$

Nośność M_{Rd} przekroju określamy w tym przypadku również ze wzoru (5.110), a stan graniczny nośności sprawdzamy z warunku (5.83), przy uwzględnieniu (5.79).

Jeśli natomiast $\xi_{\text{eff}} > h/d_{\text{prov}}$, to zachodzi odmiana III mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku, co oznacza, że sprawdzany przekrój nie jest w stanie przenieść obliczeniowej siły N_{sd} .

W alternatywnym, tradycyjnym sposobie [4] sprawdzanie stanu granicznego nośności, z identycznych względów co wymienione w podrozdziale 5.3.3.3, można również sprowadzić do jednego tylko warunku, wyrażonego nierównością (5.86). Najpierw wstępnie zakładamy występowanie odmiany I i, po uwzględnieniu κ_s dla tej odmiany, względną efektywną wysokość strefy ściskanej przekroju, podobnie jak w podrozdziale 5.3.3.3, określamy tu z równania równowagi momentów zapisanego względem punktu O_N (rys. 5.15a) przyłożenia siły podłużnej N_{sd} (także N_{Rd}), jako

$$\xi_{\text{eff}} = R + \sqrt{R^2 + R^* - \frac{2 f_{\text{yd}} (A_{s1, \text{prov}} e_{s1, \text{prov}} - A_{s2, \text{prov}} e_{s2, \text{prov}})}{f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}}^2}} \quad (5.112)$$

gdzie:

$$R = \frac{a_n}{d_{\text{prov}}} - \frac{R^*}{2} \quad (5.113)$$

$$a_n = e_{s2, \text{prov}} + a_{2, \text{prov}} \quad (5.114)$$

$$R^* = \frac{4 f_{\text{yd}} A_{s1, \text{prov}} e_{s1, \text{prov}}}{(1 - \xi_{\text{eff, lim}}) f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}}^2} \quad (5.115)$$

Nośność N_{Rd} przekroju z uwagi na siłę podłużną ściskającą na małym mimośrodku – czyli prawą stroną warunku (5.86) – określamy z równania równowagi sił w przekroju w zależności od wartości ξ_{eff} otrzymanej ze wzoru (5.112).

Jeżeli $\xi_{\text{eff, lim}} < \xi_{\text{eff}} < 1$, to rzeczywście zachodzi odmiana I mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku i nośność przekroju z uwagi na siłę podłużną ściskającą – po obliczeniu κ_s ze wzoru (5.3) dla tej odmiany – wyznaczamy z następującej zależności:

$$N_{\text{Rd}} = f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}} \xi_{\text{eff}} + f_{\text{yd}} (A_{s2, \text{prov}} - \kappa_s A_{s1, \text{prov}}) \quad (5.116)$$

Jeżeli natomiast $1 \leq \xi_{\text{eff}} \leq h/d_{\text{prov}}$, to mamy do czynienia z odmianą II mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku. Przyjmujemy zatem $\kappa_s = -1$ i ponownie określamy względną efektywną wysokość strefy ściskanej przekroju z następującej zależności (otrzymanej z równania równowagi momentów zapisanego względem prostej równoległej do osi obojętnej i przechodzącej przez punkt O_N przyłożenia siły podłużnej N_{sd} (także N_{Rd}) (rys. 5.15a):

$$\xi_{\text{eff}} = k_{\text{an}} + \sqrt{k_{\text{an}}^2 + \frac{2 f_{\text{yd}} (A_{s1, \text{prov}} e_{s1, \text{prov}} - A_{s2, \text{prov}} e_{s2, \text{prov}})}{f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}}^2}} \quad (5.117)$$

w której a_n jest określone wg (5.114), zaś

$$k_{\text{an}} = a_n / d_{\text{prov}} \quad (5.118)$$

Nośność N_{Rd} przekroju określamy w tym przypadku również ze wzoru (5.116) przy przyjęciu $\kappa_s = -1$. Stan graniczny nośności we wszystkich wyżej wymienionych przypadkach sprawdzamy z warunku (5.86).

Gdyby jednak okazało się, że $\xi_{\text{eff}} > h/d_{\text{prov}}$, to oznacza to, że zachodzi odmiana III mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku, a sprawdzany przekrój nie jest w stanie przenieść obliczeniowej siły podłużnej N_{sd} .

Przykład 5.12. Wymiarowanie niesymetrycznie zbrojonego przekroju prostokątnego w monolitycznym elemencie ściskany na małym mimośrodzie.

Dane: $M_{sd} = 150 \text{ kNm}$; $N_{sd} = 2500 \text{ kN}$; beton klasy B30; stal klasy A-III.

Przyjęto: $\alpha_{cc} = 1,0$; $f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$ (z tabl. 3.2); $f_{yd} = 350 \text{ MPa}$ (z tabl. 3.4); $\xi_{eff,lim} = 0,53$ (z tabl. 5.1); $b = 0,3 \text{ m}$; $h = 0,5 \text{ m}$; I warstwę prętów ściskanych $\phi = 20 \text{ mm}$ i I warstwę prętów rozciąganych (lub mniej ściskanych) $\phi = 16 \text{ mm}$ oraz strzemiona $\phi_s = 6 \text{ mm}$; klasę ekspozycji XC3 (tabl. 2.3); $c_{min} = \phi = 20 \text{ mm}$ (z tabl. 2.4); $\Delta c = 7 \text{ mm}$; $\phi(\infty, t_0) = 2,0$; $l_0 = l_{cat} = 3,2 \text{ m}$, konstrukcję monolityczną o węzłach nieprzesuwanych

Obliczamy kolejno:

- odległość osi ciężkości zbrojenia A_{s1} od rozciąganej (lub mniej ściskanej) krawędzi przekroju (rys. 5.2 i 5.15)

$$a_1 = c_{min} + \Delta c + \phi_s + 0,5\phi = 0,020 + 0,007 + 0,006 + 0,5 \cdot 0,016 = 0,041 \text{ m}$$
 - odległość osi ciężkości zbrojenia A_{s2} od ściskanej krawędzi przekroju (rys. 5.2 i 5.15)

$$a_2 = c_{min} + \Delta c + \phi_s + 0,5\phi = 0,020 + 0,007 + 0,006 + 0,5 \cdot 0,020 = 0,043 \text{ m}$$
 - niezamierzony mimośród przypadkowy

$$e_a = \max(l_{col} / 600 = 3,2 / 600 = 0,005 \text{ m}; h / 30 = 0,5 / 30 = 0,017 \text{ m}; 0,01 \text{ m}) = 0,017 \text{ m}$$
 - mimośród konstrukcyjny wg (5.54)

$$e_c = M_{sd} / N_{sd} = 150 / 2500 = 0,06 \text{ m}$$
 - mimośród początkowy wg (5.58)

$$e_0 = e_c + e_a = 0,06 + 0,017 = 0,077 \text{ m}$$
- Ponieważ smukłość elementu $\lambda = l_0 / h = 3,2 / 0,50 = 6,4 < 7$, zatem nie musimy uwzględnić w obliczeniach wpływu tej smukłości. W związku tym przyjmujemy $\eta = 1,0$ i obliczamy dalej:
- mimośród całkowity wg (5.59)

$$e_{tot} = \eta e_0 = 1,0 \cdot 0,077 = 0,077 \text{ m}$$
 - wysokość użyteczną przekroju

$$d = h - a_1 = 0,5 - 0,041 = 0,459 \text{ m}$$
 - położenie osi ciężkości elementu

$$y_1 = y_2 = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}$$
 - mimośrodowość siły podłużnej wg (5.64) i (5.65)

$$e_{s1} = e_{tot} + y_1 - a_1 = 0,077 + 0,25 - 0,041 = 0,286 \text{ m}$$

$$e_{s2} = |e_{tot} - y_2 + a_2| = |0,077 - 0,25 + 0,049| = 0,13 \text{ m}$$

Po wstępnym przyjęciu przekroju dłuższego mimośrodu i przeprowadzeniu dla takiego przypadku obliczeń wg wzorów (5.66) – (5.68) otrzymano $A_{s1} < 0$, co świadczy o tym, że faktycznie mamy do czynienia z przypadkiem małego mimośrodu. W związku z tym obliczamy pole przekroju zbrojenia rozciąganego lub mniej ściskanego wg (5.95)

$$A_{s1} = A_{s1,min} = \max\left(0,075 \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = 0,075 \cdot \frac{2500}{350000} = 0,000356 \text{ m}^2; 0,0015 b h = 0,0015 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 0,000225 \text{ m}^2\right) = 0,000356 \text{ m}^2$$

Przyjmujemy 3 pręty o średnicy 16 mm w I warstwie o łącznym polu przekroju $A_{s1,prov} = 3 \cdot \pi \cdot 0,016^2 / 4 = 0,000603 \text{ m}^2$ i $a_{1,prov} = a_1 = 0,041 \text{ m}$ oraz $d_{prov} = h - a_{1,prov} = 0,5 - 0,041 = 0,459 \text{ m}$ i obliczamy dalej:

- wielkość pomocniczą wg (5.98)

$$k_a = a_2 / d_{prov} = 0,043 / 0,459 = 0,0937$$

- wielkość pomocniczą wg (5.97)

$$P = k_a \frac{2 f_{yd} A_{s1,prov} (d_{prov} - a_2)}{f_{cd} b d_{prov}^2 (1 - \xi_{eff,lim})} = 0,0937 - \frac{2 \cdot 350000 \cdot 0,000603 \cdot (0,459 - 0,043)}{16700 \cdot 0,3 \cdot 0,459^2 \cdot (1 - 0,53)} = -0,260$$

- względną efektywną wysokość strefy ściskanej wg (5.96)

$$\xi_{eff} = P + \sqrt{P^2 + \frac{2 \left[N_{sd} e_{s2} (1 - \xi_{eff,lim}) + f_{yd} A_{s1,prov} (d_{prov} - a_2) (1 + \xi_{eff,lim}) \right]}{d_{prov}^2 (1 - \xi_{eff,lim})} f_{cd} b} = -0,260 + \sqrt{(-0,260)^2 + \frac{2 \cdot \left[2500 \cdot 0,13 \cdot (1 - 0,53) + 350000 \cdot 0,000603 \cdot (0,459 - 0,043) \cdot (1 + 0,53) \right]}{16700 \cdot 0,3 \cdot 0,459^2 \cdot (1 - 0,53)}} = 0,847$$

Ponieważ $\xi_{eff,lim} = 0,53 < \xi_{eff} = 0,847 < 1$, to stwierdzamy, że zachodzi odmiana I mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku (patrz podrozdział 5.3.4.1) i dla tej odmiany wyznaczamy:

- współczynnik wg (5.3)

$$\kappa_s = \frac{2(1 - \xi_{eff})}{1 - \xi_{eff,lim}} - 1 = \frac{2 \cdot (1 - 0,847)}{1 - 0,53} - 1 = 0,349$$

– pole przekroju zbrojenia ściskanego ze wzoru (5.99)

$$A_{s2} = - \frac{\xi_{\text{eff}} \cdot f_{\text{cd}} \cdot b \cdot d_{\text{prov}}}{f_{\text{yd}}} + \kappa_s \cdot A_{s1, \text{prov}} + \frac{N_{\text{Sd}}}{f_{\text{yd}}} = - \frac{0,847 \cdot 16700 \cdot 0,3 \cdot 0,459}{350000} + 0,001368 \text{ m}^2.$$

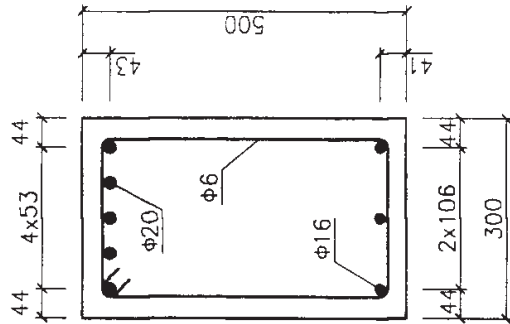
Przyjmujemy, stosownie do warunku (5.67), 5 prętów o średnicy 20 mm w 1 warstwie łącznym polu przekroju $A_{s2, \text{prov}} = 5 \cdot \pi \cdot 0,020^2 / 4 = 0,001571 \text{ m}^2$.

Odległość osi ciężkości przekroju tego zbrojenia od ściskanej krawędzi przekroju wynosi $a_{2, \text{prov}} = a_2 = 0,043 \text{ m}$, a ponieważ $d_{\text{prov}} = d = 0,459 \text{ m}$, korekta obliczeń jest zbędna (patrz przykład 5.1).

Sprawdzamy, wg (5.73), czy pole przyjętego zbrojenia mieści się w granicach wyznaczonych przez normę [N1]:

$$0,04bh = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 0,006 \text{ m}^2 >$$

$$> A_{s1, \text{prov}} + A_{s2, \text{prov}} = 0,001571 + 0,000603 = 0,002174 \text{ m}^2 > A_{s, \text{min}} =$$

$$= \max \left(0,15 \frac{N_{\text{Sd}}}{f_{\text{yd}}} = 0,15 \cdot \frac{2500}{350000} = 0,001071 \text{ m}^2; 0,003bh = 0,003 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 0,000450 \text{ m}^2 \right) = 0,001071 \text{ m}^2.$$


Rys. 5.16. Przekrój prostokątny niesymetrycznie zbrojonego elementu mimośrodowo ściskanego na małym mimośrodku, obliczony w przykładzie 5.12

Przykład 5.13.

Wyznaczenie nośności i sprawdzenie warunku nośności dla niesymetrycznie zbrojonego prostokątnego przekroju w monolitycznym elemencie ściskanym na małym mimośrodku.

Obliczenia przeprowadza się dla następujących danych z przykładu 5.12. $M_{\text{Sd}} = 150 \text{ kNm}$; $N_{\text{Sd}} = 2500 \text{ kN}$; beton klasy B30; stal klasy A-III; $b = 0,3 \text{ m}$; $h = 0,5 \text{ m}$; $e_0 = 0,017 \text{ m}$; $a_{1, \text{prov}} = 0,041 \text{ m}$; $a_{2, \text{prov}} = 0,043 \text{ m}$; $A_{s1, \text{prov}} = 0,000603 \text{ m}^2$; $A_{s2, \text{prov}} = 0,001571 \text{ m}^2$; $l_0 = l_{\text{cat}} = 3,2 \text{ m}$, konstrukcja monolityczna o węzłach nieprzesuwanych.

Przyjęto: $\alpha_{\text{cc}} = 1,0$; $f_{\text{cd}} = 16,7 \text{ MPa}$ (z tabl. 3.2); $f_{\text{yd}} = 310 \text{ MPa}$ (z tabl. 3.4); $\xi_{\text{eff, lim}} = 0,55$ (z tabl. 5.1):

Według sposobu proponowanego przez normę [N1] obliczamy kolejno:

– mimośród konstrukcyjny wg (5.54)

$$e_c = M_{\text{Sd}} / N_{\text{Sd}} = 150 / 2500 = 0,06 \text{ m},$$

– mimośród początkowy wg (5.58)

$$e_0 = e_c + e_a = 0,06 + 0,017 = 0,077 \text{ m}.$$

Ponieważ smukłość elementu $\lambda = l_0 / h = 3,2 / 0,50 = 6,4 < 7$, zatem nie musimy uwzględniać w obliczeniach wpływu tej smukłości. W związku z tym przyjmujemy $\eta = 1,0$ i obliczamy:

– mimośród całkowity wg (5.59)

$$e_{\text{tot}} = \eta e_0 = 1,0 \cdot 0,077 = 0,077 \text{ m}.$$

– wysokość użyteczną przekroju

$$d_{\text{prov}} = h - a_{1, \text{prov}} = 0,5 - 0,041 = 0,459 \text{ m},$$

– położenie osi ciężkości elementu

$$y_1 = y_2 = 0,5h = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m},$$

– mimośrodowość siły podłużnej wg (5.64) i (5.65)

$$e_{s1, \text{prov}} = e_{\text{tot}} + y_1 - a_{1, \text{prov}} = 0,077 + 0,25 - 0,041 = 0,286 \text{ m},$$

$$e_{s2, \text{prov}} = |e_{\text{tot}} - y_2 + a_{2, \text{prov}}| = |0,077 - 0,25 + 0,043| = 0,13 \text{ m},$$

– względną efektywną wysokość strefy ściskanej wg (5.109)

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{[N_{\text{Sd}} - f_{\text{yd}} (A_{s1, \text{prov}} + A_{s2, \text{prov}})] (1 - \xi_{\text{eff, lim}}) + 2 f_{\text{yd}} A_{s1, \text{prov}}}{f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}} (1 - \xi_{\text{eff, lim}}) + 2 f_{\text{yd}} A_{s1, \text{prov}}} =$$

$$= \frac{[2500 - 350000 \cdot (0,000603 + 0,001571)] \cdot (1 - 0,53) + 2 \cdot 350000 \cdot 0,000603}{16700 \cdot 0,3 \cdot 0,459 \cdot (1 - 0,53) + 2 \cdot 350000 \cdot 0,000603} = 0,825.$$

Ponieważ $\xi_{\text{eff,lim}} = 0,53 < \xi_{\text{eff}} = 0,825 < 1$, to stwierdzamy, że zachodzi odmianna I mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku (patrz podrozdział 5.3.4.3) i ze wzoru (5.110) wyznaczamy nośność przekroju na zginanie przy mimośrodowym ściskaniu na małym mimośrodku

$$M_{\text{RdI}} = f_{\text{cd}} b d^2 \xi_{\text{eff}} (1 - 0,5 \xi_{\text{eff}}) + f_{\text{yd}} A_{\text{s2,prov}} (d_{\text{prov}} - a_{2,prov}) = \\ = 16700 \cdot 0,3 \cdot 0,459^2 \cdot 0,825 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,825) + 350000 \cdot 0,001571 \cdot \\ \cdot (0,459 - 0,043) = 740,33 \text{ kNm},$$

a warunek nośności zapisujemy wg (5.79) i (5.83) jako

$$M_{\text{SdI}} = N_{\text{SdI}} e_{\text{s1,prov}} = 2500 \cdot 0,286 = 715,00 \text{ kNm} < M_{\text{RdI}} = 740,33 \text{ kNm},$$

stwierdzając, że został spełniony.

Według sposobu tradycyjnego [4] obliczamy kolejno:

- wielkości: e_c , e_0 , η , e_{tot} , d_{prov} , $e_{\text{s1,prov}}$ oraz $e_{\text{s2,prov}}$ – w sposób identyczny jak w przedstawionym wyżej sposobie, proponowanym przez normę [N1],
- współczynnik wg (5.115)

$$R^* = \frac{4 f_{\text{yd}} A_{\text{s1,prov}} e_{\text{s1,prov}}}{(1 - \xi_{\text{eff,lim}}) f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}}^2} = \frac{4 \cdot 350000 \cdot 0,000603 \cdot 0,286}{(1 - 0,53) \cdot 16700 \cdot 0,3 \cdot 0,459^2} = 0,487,$$

- współczynnik wg (5.114)

$$a_n = e_{\text{s2,prov}} + a_{2,prov} = 0,13 + 0,043 = 0,173 \text{ m},$$

- współczynnik wg (5.113)

$$R = \frac{a_n}{d_{\text{prov}}} - \frac{R^*}{2} = \frac{0,173}{0,459} - \frac{0,487}{2} = 0,133,$$

- względną efektywną wysokość strefy ściskanej wg (5.112)

$$\xi_{\text{eff}} = R + \sqrt{R^2 + R^* - \frac{2 f_{\text{yd}} (\lambda_{\text{s1,prov}} e_{\text{s1,prov}} - A_{\text{s2,prov}} e_{\text{s2,prov}})}{f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}}^2}} = \\ = 0,133 + \sqrt{0,133^2 + 0,487 - \frac{2 \cdot 350000 \cdot (0,000603 \cdot 0,286 - 0,001571 \cdot 0,129)}{16700 \cdot 0,3 \cdot 0,459^2}} = \\ = 0,857.$$

Ponieważ $\xi_{\text{eff,lim}} = 0,53 < \xi_{\text{eff}} = 0,857 < 1$, to stwierdzamy, że zachodzi odmianna I mimośrodowego ściskania na małym mimośrodku (patrz podrozdział 5.3.4.3) i najpierw dla tej odmianny ze wzoru (5.3) wyznaczamy współczynnik

$$k_s = \frac{2(1 - \xi_{\text{eff}})}{1 - \xi_{\text{eff,lim}}} - 1 = \frac{2 \cdot (1 - 0,857)}{1 - 0,53} - 1 = -0,391,$$

a następnie ze wzoru (5.116) nośność przekroju ze względu na siłę podłużną ściskającą na małym mimośrodku

$$N_{\text{Rd}} = f_{\text{cd}} b d_{\text{prov}} \xi_{\text{eff}} + f_{\text{yd}} (A_{\text{s2,prov}} - \kappa_s A_{\text{s1,prov}}) = \\ = 16700 \cdot 0,3 \cdot 0,459 \cdot 0,857 + 350000 \cdot (0,001571 + 0,391 \cdot 0,000603) = \\ = 2603,12 \text{ kNm}.$$

Warunek nośności zapisujemy wg (5.86) jako

$$N_{\text{Sd}} = 2500 \text{ kN} < N_{\text{Rd}} = 2603,12 \text{ kN}, \text{ stwierdzając, że został spełniony.}$$

Przykład 5.14. Wymiarowanie symetrycznie zbrojonego przekroju prostokątnego w monolitycznym elemencie ściskanym na małym mimośrodku.

Dane: $M_{\text{Sd}} = 160 \text{ kNm}$; $N_{\text{Sd}} = 1700 \text{ kN}$; beton klasy B30; stal klasy A-II.

Przyjęto: $\alpha_{\text{cc}} = 1,0$; $f_{\text{cd}} = 16,7 \text{ MPa}$ (z tabl. 3.2); $f_{\text{yd}} = 310 \text{ MPa}$ (z tabl. 3.4); $\xi_{\text{eff,lim}} = 0,55$ (z tabl. 5.1); $b = 0,3 \text{ m}$; $h = 0,4 \text{ m}$; I warstwę prętów rozciąganych i ściskanych $\phi = 20 \text{ mm}$ oraz strzemiona $\phi_s = 6 \text{ mm}$; klasę ekspozycji XC2 (tabl. 2.3); $e_{\text{min}} = \phi = 20 \text{ mm}$ (tabl. 2.4); $\Delta c = 5 \text{ mm}$; $l_0 = l_{\text{cal}} = 2,7 \text{ m}$, konstrukcję monolityczną o węzłach nieprzesuwnych

Obliczamy kolejno:

- odległości osi ciężkości przekrojów zbrojeń A_{s1} i A_{s2} od najbliższych krawędzi przekroju (rys. 5.2 i 5.15)

$$a_1 = a_2 = e_{\text{min}} + \Delta c + \phi_s + 0,5 \phi = 0,020 + 0,005 + 0,006 + 0,5 \cdot 0,020 = \\ = 0,041 \text{ m},$$

- niezamierzony mimośród przypadkowy

$$e_a = \max(l_{\text{col}}/600 = 2,7/600 = 0,0045 \text{ m}; h/30 = 0,4/30 = \\ = 0,013 \text{ m}; 0,01 \text{ m}) = 0,013 \text{ m},$$

- mimośród konstrukcyjny wg (5.54)

$$e_c = M_{\text{Sd}} / N_{\text{Sd}} = 160/1700 = 0,094 \text{ m},$$

- mimośród początkowy wg (5.58)

$$e_0 = e_c + e_a = 0,094 + 0,013 = 0,107 \text{ m}.$$

Ponieważ smukłość elementu $\lambda = l_0/h = 2,7/0,40 = 6,75 < 7$, zatem nie musimy uwzględniać wpływu tej smukłości w obliczeniach. Przyjmujemy więc $\eta = 1,0$ i obliczamy dalej:

- mimośród całkowity wg (5.59)

$$e_{\text{tot}} = \eta e_0 = 1,0 \cdot 0,107 = 0,107 \text{ m},$$

- wysokość użyteczną przekroju

$$d = h - a_1 = 0,4 - 0,041 = 0,359 \text{ m},$$

- położenie osi ciężkości elementu

$$y_1 = y_2 = 0,5h = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 \text{ m},$$

- mimośrodowość siły podłużnej wg (5.64) i (5.65)

$$e_{s1} = e_{tot} + y_1 - a_1 = 0,107 + 0,2 - 0,041 = 0,266 \text{ m},$$

$$e_{s2} = |e_{tot} - y_2 + a_2| = |0,107 - 0,2 + 0,041| = 0,052 \text{ m},$$

- współczynnik wg (5.103)

$$B = \frac{2 N_{sd} e_{s1}}{f_{cd} b d^2} = \frac{2 \cdot 1700 \cdot 0,266}{16700 \cdot 0,3 \cdot 0,359^2} = 1,401,$$

- współczynnik wg (5.104)

$$C = \frac{N_{sd} (d - a_2)}{f_{cd} b d^2} = \frac{1700 \cdot (0,359 - 0,041)}{16700 \cdot 0,3 \cdot 0,359^2} = 0,837,$$

- względną efektywną wysokość strefy ściskanej z równania trzeciego stopnia wg (5.102)

$$\xi_{eff}^3 - (2 + \xi_{eff,lim}) \xi_{eff}^2 + \left[(1 + \xi_{eff,lim}) - \frac{a_2}{d} (1 - \xi_{eff,lim}) + B \right] \xi_{eff} - B \xi_{eff,lim} - C (1 - \xi_{eff,lim}) = 0,$$

$$\xi_{eff}^3 - (2 + 0,55) \xi_{eff}^2 + [(1 + 0,55) - (0,041/0,359) \cdot (1 - 0,55) + 1,401] \xi_{eff} - 1,401 - 0,55 - 0,837 \cdot (1 - 0,55) = 0,$$

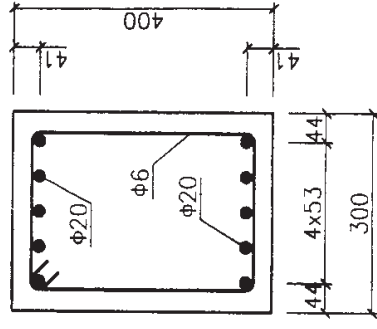
jako następujący akceptowalny pierwiastek: $\xi_{eff} = 0,730$.

Ponieważ $\xi_{eff,lim} = 0,55 < \xi_{eff} = 0,730 < 1$, to pole przekroju zbrojenia symetrycznego obliczamy ze wzoru (5.105)

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{N_{sd} e_{s1} - f_{cd} b d^2 \xi_{eff} (1 - 0,5 \xi_{eff})}{f_{yd} (d - a_2)} =$$

$$= \frac{1700 \cdot 0,266 - 16700 \cdot 0,3 \cdot 0,359^2 \cdot 0,730 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,730)}{310000 \cdot (0,359 - 0,041)} = 0,001551 \text{ m}^2.$$

Przyjmujemy w 1 warstwie po obu stronach przekroju, stosownie do warunku (5.72), 5 prętów o średnicy 20 mm i łącznym polu przekroju $A_{s1,prov} = A_{s2,prov} = 5 \cdot \pi \cdot 0,02^2 / 4 = 0,001571 \text{ m}^2$.



Rys. 5.17. Przekrój prostokątny symetrycznie zbrojony elementu mimośrodowo ściskanego na małym mimośrodku, obliczony w przykłdzie 5.14

Sprawdzamy, wg (5.73), czy pole przyjętego zbrojenia mieści się w granicach wyznaczonych przez normę [N1]:

$$0,04bh = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,4 = 0,0048 \text{ m}^2 > A_{s1,prov} + A_{s2,prov} =$$

$$= 0,001551 + 0,001551 = 0,003102 \text{ m}^2 > A_{s,min} = \max \left(0,15 \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \right.$$

$$= 0,15 \cdot \frac{1700}{310000} = 0,000823 \text{ m}^2 ; 0,003bh = 0,003 \cdot 0,3 \cdot 0,4 = 0,000360 \text{ m}^2) =$$

$$= 0,000823 \text{ m}^2.$$

Uwaga: Sposobu wyznaczania nośności przekroju z wymiarowanego w przykłdzie 5.14 i sprawdzania dla niego warunku nośności nie podano, gdyż jest on identyczny z przedstawionym w przykłdzie 5.13.

5.4. SŁUPY UZWOJONE

Słupy uzwojone mają zazwyczaj przekrój kołowy (rys. 5.18) lub wieloboczny o większej liczbie boków. Według normy [N1], wpływ uzwojenia na nośność tych słupów może być uwzględniony w obliczeniach jedynie wtedy, gdy: