
PORADNIK PROJEKTANTA **KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH**



WSTĘP

ŻELBET, CZYLI BETON DODATKOWO WZMOCNIONY STALOWYMI PRĘTAMI, CECHUJE WYSOKA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE I ROZCIĄGANIE ORAZ MOŻLIWOŚĆ NIEMAL DOWOLNEGO KSZTAŁTOWANIA. SPRAWIA TO, ŻE JEST JEDNYM Z NAJPOPULARNIEJSZYCH MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH.

Warto pamiętać, że projektowanie konstrukcji żelbetowych to nie tylko „wklepywanie” danych potrzebnych do obliczeń. To duża odpowiedzialność. Musisz mieć pełną świadomość swojego działania. Jak słusznie określił to jeden z najlepszych polskich ekspertów w dziedzinie projektowania żelbetu – prof. Starosolski: „Podstawą właściwej decyzji projektanta jest swoista erudycja konstrukcyjna, znajomość szerokiego wachlarza rozwiązań konstrukcyjnych, a nawet ściślej – chwytów konstrukcyjnych.

Niniejsza publikacja to zbiór rozwiązań obliczeniowych, dotyczących różnego rodzaju konstrukcji żelbetowych. Dzięki temu poradnikowi:

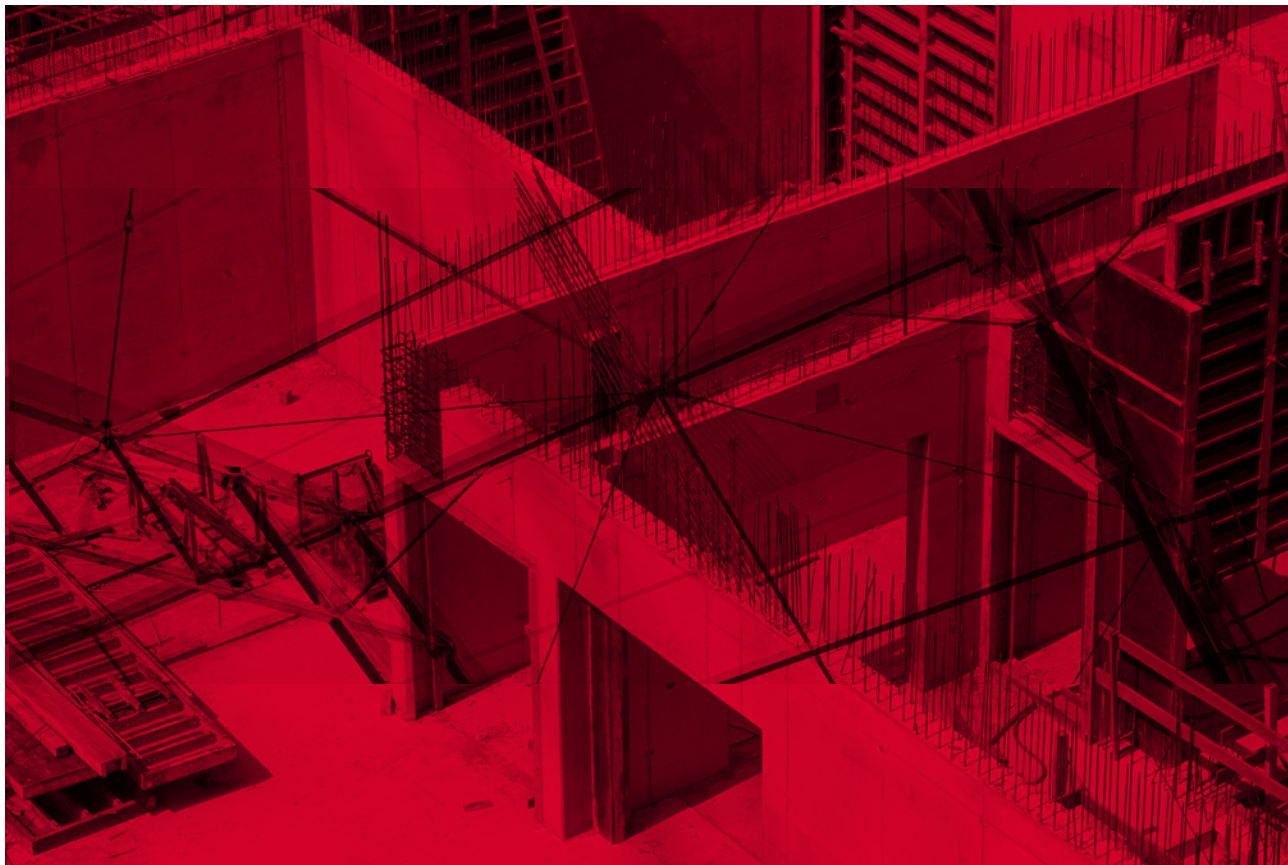
- poprawnie obliczysz ramy prętowe,
- otrzymasz komplet wzorów do uproszczonego obliczania naprężeń w zbrojeniu,
- dowiesz się, jak obliczać siły wewnętrzne w silosach i zbiornikach wielokomorowych,
- obliczysz nośność graniczną na zginanie w konstrukcjach sprężonych.

Wszystkie rozwiązania zostały opracowane przez czołowych projektantów i jednocześnie dydaktyków akademickich, takich jak prof. Starosolski, Knauff czy prof. Halicka.

Życzymy inspirującej lektury.



Zespół PWN



SPIS TREŚCI

OBLICZANIE NAPRĘŻEŃ	4
OBLICZANIE RAM PRĘTOWYCH	6
OBLICZENIE SIŁ WEWNĘTRZNYCH W SIŁOSACH I ZBIORNIKACH WIELOKOMOROWYCH	9
BETONOWE KONSTRUKCJE SPRĘŻONE	13

OBLICZANIE NAPRĘŻEŃ

 **AUTOR:**

Michał Knauff

Napężenia konstrukcji żelbetowych można obliczać według klasycznej teorii liniowej. Według normy, wpływ pełzania można uwzględniać, stosując (zamiast E_{cm}) efektywny moduł sprężystości betonu

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

Uwzględnianie pełzania metodą efektywnego modułu sprężystości jest ściśle tylko wtedy, gdy napężenia w betonie podczas całego procesu pełzania pozostają stałe. Na ogół postulat ten nie jest jednak spełniony. Należałoby zatem napężenia i odkształcenia rozpatrywać jako funkcje czasu, stosując prawo pełzania. Zagadnienia obliczania konstrukcji, w których zachodzi pełzanie i skurcz betonu, są przedmiotem obszernego działu teorii konstrukcji z betonu – istnieje wiele publikacji dotyczących tej problematyki.

W zwykłych warunkach wilgotnościowych i cieplnych, jeżeli zmiany naprężeń są powolne i monotoniczne (a to założenie jest na ogół spełnione), metoda efektywnego modułu zapewnia dokładność wystarczającą dla celów praktycznych.

Na skutek pełzania napężenia i odkształcenia zmieniają się z biegiem czasu. W elementach zginanych (przy stałym momencie zginającym) napężenia w najbardziej ściskanych włóknach betonu maleją, a odkształcenia rosną. W zbrojeniu rozciągającym napężenia i odkształcenia rosną.

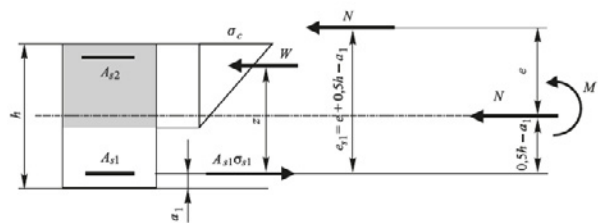
W zbrojeniu ściskanym w elementach zginanych i ściskanych w miarę upływu czasu zbrojenie przejmuje część sił wewnętrznych, które bezpośrednio po przyłożeniu obciążenia były przenoszone przez beton.

Ścisłe obliczenie naprężeń wymaga wyznaczania charakterystyk geometrycznych przekroju, a w fazie II, gdy $N \neq 0$, prowadzi do konieczności rozwiązywania równań trzeciego stopnia. Zamiast ścisłych obliczeń według teorii liniowej można zastosować przedstawione w następnym punkcie uproszczenia.

Uprozczone obliczanie naprężeń

Na ogół ramię sił wewnętrznych w przekrojach żelbetowych mieści się w przedziale od 0,7 do 0,95 wysokości użytecznej. Uproszczony sposób obliczania naprężeń opiera się na oszacowaniu tego ramienia. Wypadkowa siła w strefie ściskanej, tzn. suma siły w betonie i w zbrojeniu A_{s2} , wynosi:

$$W = N - A_{s1}\sigma_{s1}$$



Rys. Uprozczone obliczanie sił wewnętrznych i naprężeń w zbrojeniu w fazie II

Moment sił wewnętrznych względem zbrojenia A_{s1} można wyznaczyć ze wzoru

$$W_z = (N - A_{s1}\sigma_{s1})z = M_{s1},$$

a zatem

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{s1}}{zA_{s1}} - \frac{N}{A_{s1}}.$$

W powyższym wzorze

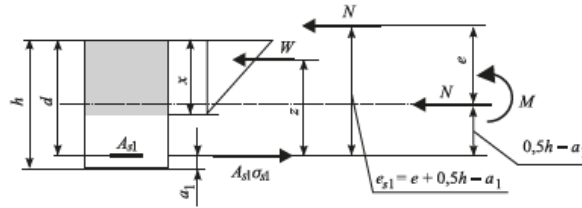
$$M_{s1} = M + N(0,5h - a_1).$$

W przypadku czystego zginania $M_{s1} = M$ i

$$\sigma_{s1} = \frac{M}{zA_{s1}}.$$

Wzory te są podstawą prostej metody przybliżonego obliczania naprężeń, opartego na szacowaniu ramienia sił wewnętrznych z .

Tablicę tę można stosować także do przekrojów prostokątnych ze zbrojeniem A_{s2} i do przekrojów teowych z półką w strefie ściskanej. Wtedy obliczone naprężenia w zbrojeniu będą większe (zwykle nieznacznie) od obliczonych ściśle.



Dane: wymiary przekroju, A_{s1} , E_{cm} , $\varphi(\infty, t_0)$, siła podłużna N i moment M . Rozpatruje się prostokątne przekroje pojedynczo zbrojone¹. Przyjęto, że naprężenia rozciągające w zbrojeniu są dodatnie.

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{bd}, \quad E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}, \quad \alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}}, \quad \alpha_1 = \alpha_e \frac{A_{s1}}{bd}.$$

Czyste zginanie $N = 0$.

W przybliżeniu:

$$z = 0,90d \text{ dla } \alpha_1 \leq 0,06, \quad z = 0,85d \text{ dla } 0,06 < \alpha_1 \leq 0,18, \quad z = 0,80d \text{ dla } 0,18 < \alpha_1 < 0,48.$$

Dokładnie:

$$\xi = \sqrt{\alpha_1^2 + 2\alpha_1} - \alpha_1, \quad x = \xi d, \quad z = d - x/3,$$

$$\sigma_{s1} = \frac{M}{zA_{s1}}.$$

Zginanie z $N \neq 0$ ($N > 0$ przy ściskaniu i $N < 0$ przy rozciąganiu):

$$M_{s1} = M + N(0,5h - a_1).$$

Ścisłe obliczenie zasięgu strefy ściskanej przy niezerowej sile podłużnej przedstawiono w rozdziale 4. Przy ściskaniu w przypadkach, w których istnieje strefa rozciągana o zasięgu nie mniejszym od $0,25d$, można przyjąć $z = 0,75d$. Jeżeli strefa rozciągana ma mniejszy zasięg, to wynik obliczenia uproszczonego będzie mniejszy od ścisłego, ale przy niewielkiej strefie rozciąganej naprężenia w zbrojeniu nie mogą osiągać dużych wartości.

W przypadku rozciągania, jeżeli istnieje strefa ściskana (czyli $M_{s1} > 0$), to można przyjąć wartości z takie jak przy zginaniu. Zasady obliczania przy rozciąganiu z małym mimośrodem ($M_{s1} \leq 0$) przedstawiono w rozdziale 4, w punkcie 4.3.6.

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{s1}}{zA_{s1}} - \frac{N}{A_{s1}}.$$

Komplet wzorów do uproszczonego obliczania naprężeń w zbrojeniu

NA PODSTAWIE:

Obliczanie konstrukcji żelbetowych według eurokodu

(Wydawnictwo Naukowe PWN wyd. 3, 2018),
autor: Michał Knauff

ZOBACZ



OBLICZANIE RAM PRĘTOWYCH

 **AUTOR:**

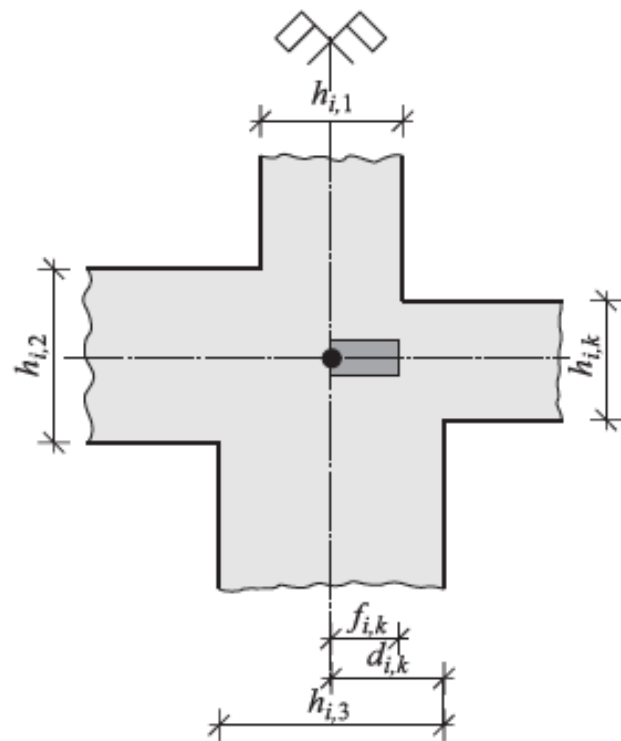
Włodzimierz Starosolski

W inżynierskich obliczeniach konstrukcji szkieletowych przyjmuje się zwykle, że konstrukcja wykonana jest z materiału o ustalonych cechach liniowo sprężystych.

Jest to przyjęcie sankcjonowane zarówno przez normę EC2, jak i dawną PN02, a dla szeregu typów konstrukcji wręcz wymagane. W typowych obliczeniach ramowych ustrojów szkieletowych, także ze wspomaganie komputerowym, przyjmuje się, że pręty tworzące model ustroju scharakteryzowane są nie rzeczywistymi wymiarami ich przekroju, lecz jego charakterystykami: momentami bezwładności na zginanie i skręcanie oraz polem powierzchni przekroju poprzecznego. Obliczenia wykonuje się dla tak przyjętego opisu prętów. Operowanie charakterystykami przekrojów zamiast ich wymiarami może prowadzić do błędów. Uproszczeń tych można uniknąć, jeżeli ustrój szkieletowy będzie modelowany nie elementami prętowymi, lecz płaskimi elementami „tarczowymi”. W tym przypadku rama staje się tarczą, w której powycinano stosowne otwory.

Różnice między modelem ramy traktowanej jako tarcza a modelem ramy prętowej uwidacznia dodatkowo obraz naprężeń normalnych w przekrojach przywęzłowych.

Znaczne zbliżenie wyników rozwiązania ram między rozwiązaniem tarczowym a prętowym można uzyskać, wprowadzając całkowicie sztywne odcinki prętów na obszarze przywęzłowym (w uroszczeniu ramy o węzłach sztywnych). Można tu polecić dobór długości tych sztywnych odcinków przywęzłowych f_i, k , stosując oznaczenia:



Rys. Oznaczenia do obliczenia sztywnych odcinków przywęzłowych

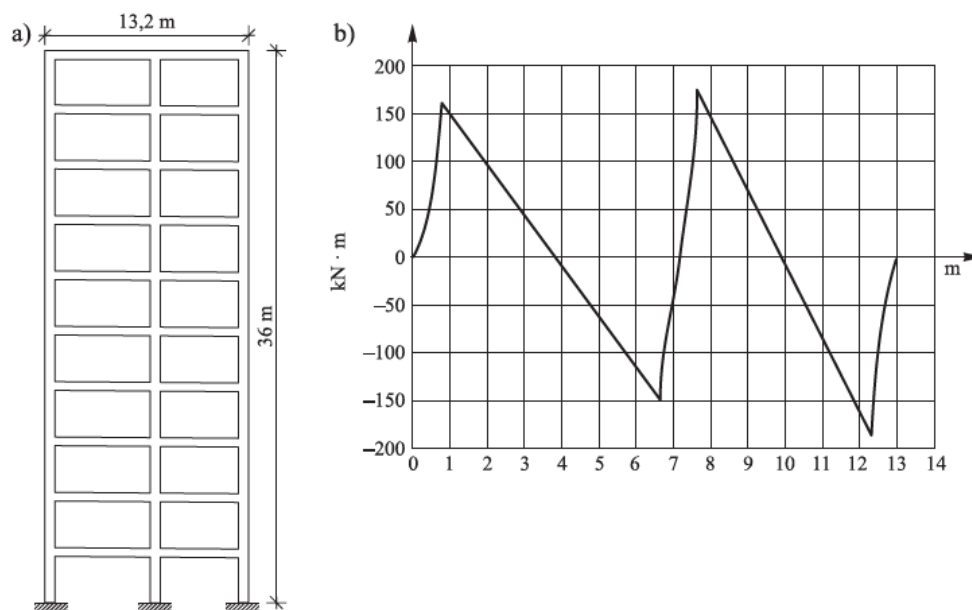
$$f_{i,k} = d_{i,k} - 0,1h_{i,k} - 0,15h_{i,j}^{\max}, \quad j = 1, 2, 3,$$

gdzie

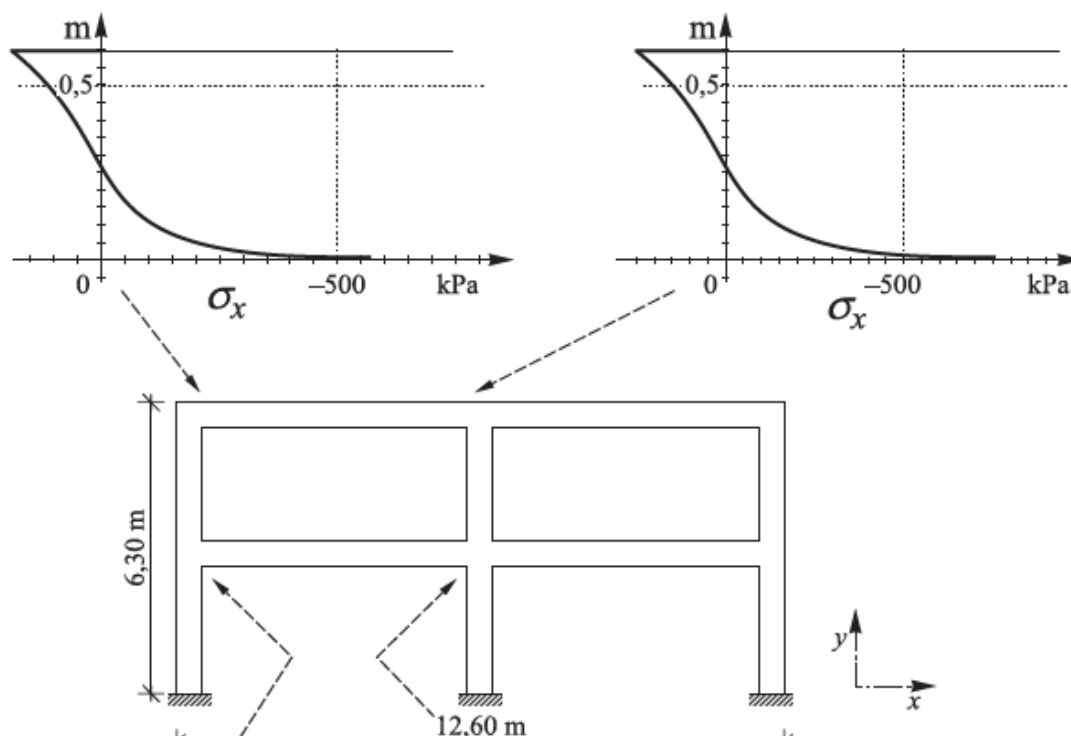
$d_{i,k}$ – długość odcinka pręta do krawędzi,

$h_{i,k}$ – szerokość rozważanego odcinka,

$h_{i,j}^{\max}$ – maksymalna szerokość wybrana z pozostałych prętów zbiegających się w węzle.

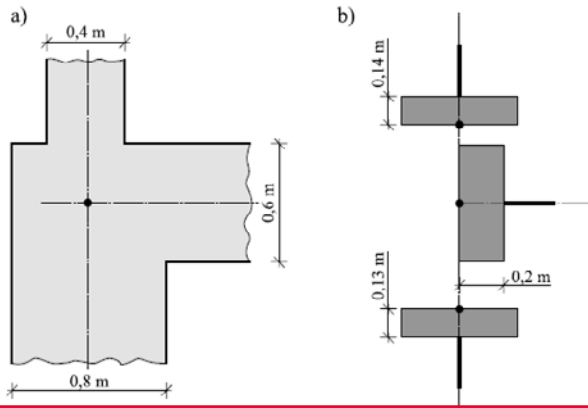


Rys. Model ramy ukształtowany elementami płaskimi: a) model, b) wykres momentów zginających w drugim rygłu od dołu wywołanych poziomym równomiernym obciążeniem ramy na całej wysokości



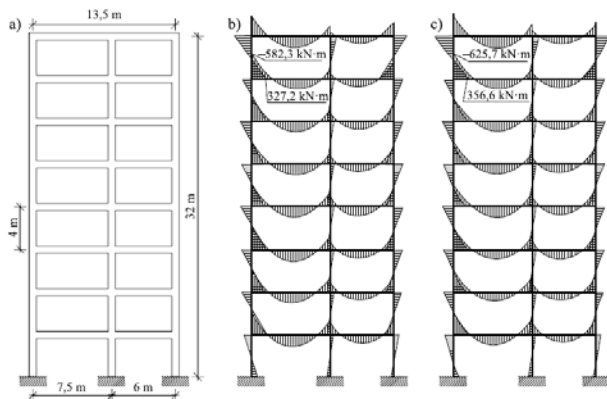
Rys. Przykładowe rozkłady naprężeń σ_x w przekrojach podporowych ramy „tarczowej” – obciążenie pionowe równomiernie rozłożone wyłącznie na lewym rygłu górnym

Przykładowe wyniki obliczeń długości sztywnych odcinków podano niżej. Należy zwrócić tu uwagę, że długość odcinków sztywnych jest mniejsza niż odpowiedni wymiar węzła.



Rys. Przykład określenia długości sztywnych odcinków przywęzłowych; a) geometria węzła, b) długości odcinków przywęzłowych

Porównanie momentów zginających obliczonych w ramie w sposób klasyczny i w sposób podany wskazanym wyżej wzorem przedstawiono tutaj:



Rys. Porównanie modeli ramy obliczanej tradycyjnie i z uwzględnieniem sztywnych odcinków przywęzłowych ze wzoru; a) model, b) momenty zginające otrzymane w wyniku rozwiązania tradycyjnego, c) momenty otrzymane w modelu, w którym zastosowano sztywne odcinki przywęzłowe

Wprowadzenie sztywnych odcinków przywęzłowych zaowocowało 10% zmianą wartości momentów ekstremalnych. Można też zwrócić uwagę, że odcinki sztywne były bardzo krótkie i wynosiły

dla rygli 0,21 m, a dla słupów z każdej strony węzła po 0,15 m. Analogiczna zmiana wartości momentów wystąpiła, co oczywiste, w innych przekrojach.

W prefabrykowanych konstrukcjach szkieletowych bywa, że rygle opierają się na wspornikach słupów. Przy modelowaniu ustroju elementami prętowymi niewłaściwe byłoby traktowanie takiego połączenia jako połączenia przegubowego, w którym przegub usytuowany jest przy osi słupa. W takim przypadku między osią słupa a miejscem podparcia przegubowego belki wskazane jest wprowadzenie odcinka sztywnego pręta.

Oczywiście, modelując taki ustrój elementami płaskimi, możemy odtworzyć sytuację o wiele dokładniej.



NA PODSTAWIE:

Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych Tom 5

(Wydawnictwo Naukowe PWN, 2016),
autor: Włodzimierz Starosolski

ZOBACZ

OBLICZENIE SIŁ WEWNĘTRZNYCH W SILOSACH I ZBIORNIKACH WIELOKOMOROWYCH

 **AUTORZY:**

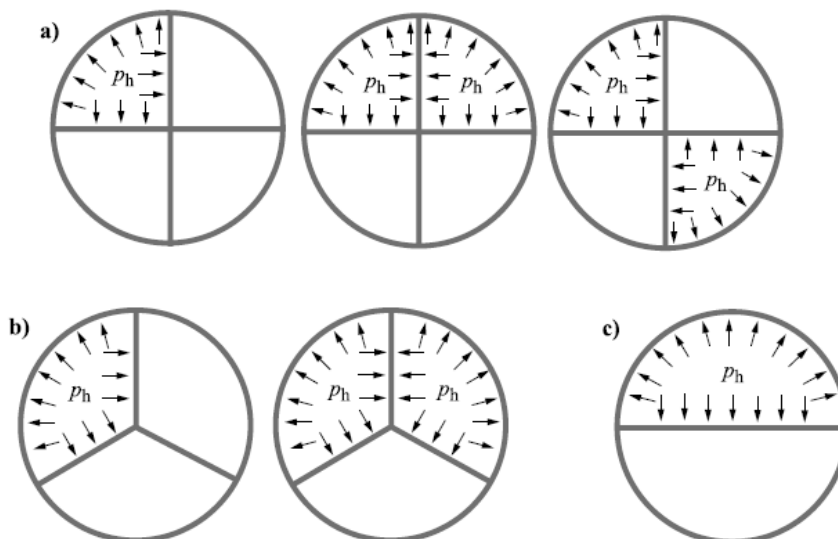
Anna Halicka, Dominika Joanna Franczak-Balmas

9

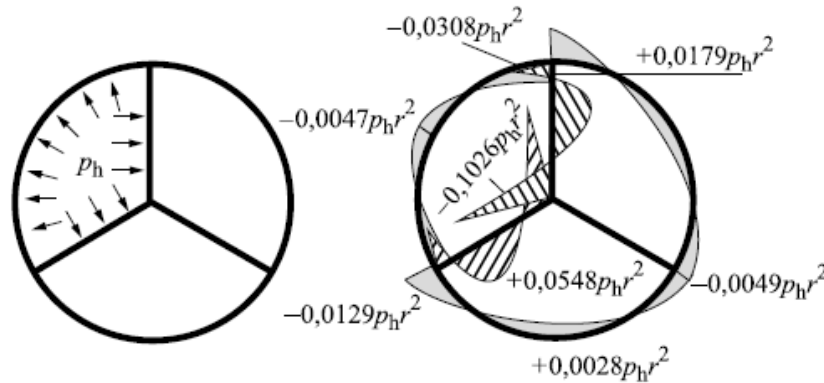
Podział silosów kołowych na komory o mniejszych pojemnościach, w których znajdują się materiały sypkie o różnych właściwościach, realizowany jest za pomocą ścian działowych. Najczęściej przechodzą one przez pionową oś silosu, poszczególne komory stanowią

więc w przekroju wycinki koła o kącie wewnętrznym zależnym od ich liczby.

Ściany działowe powodują powstanie w płaszczyznach równoleżnikowych obok sił równoleżnikowych także momentów równoleżnikowych, i to nie tylko w komorach napełnionych. Rozpatrzeć więc



Rys. Schematy obliczeniowe silosów wielokomorowych ze ścianami działowymi: a) silos czterokomorowy, b) silos trzykomorowy, c) silos dwukomorowy



Rys. Rozkład momentów w trzykomorowym silosie przy napełnieniu jednej z komór

należy możliwe warianty napełniania komór, wybierając do wymiarowania ekstremalne wartości sił wewnętrznych.

Poniżej podane zostaną zasady obliczeń sił wewnętrznych w płaszczyznach poziomych, pochodzących jedynie od parcia poziomego. Pozostałe efekty (wpływ parcia miejscowego, praca tarczowa, momenty zamocowań w dnie) należy analizować jak w komorach pojedynczych.

W celu obliczenia sił wewnętrznych w strefach poza połączeniem komory z dnem i przekryciem, komory dzieli się myślowo na odcinki o wysokości 1 m i rozpatruje się płaskie zagadnienie poziomych jednometrowych ram zamkniętych, obciążonych parciem poziomym działającym na wysokości ramy. Ramy o kształtach pokazanych na rysunku wyżej są wielokrotnie statycznie niewyznaczalne.

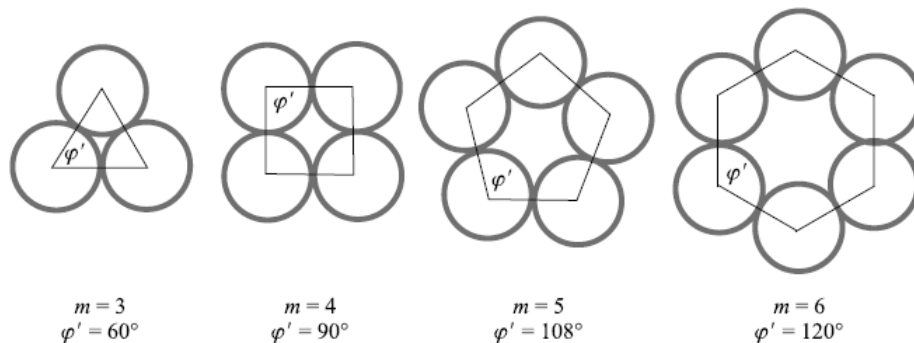
Analityczne ich rozwiązanie, dodatkowo z wariantami obciążenia różnych komór nie jest zadaniem prostym i najlepiej je realizować metodą elementów skończonych.

Baterie silosów kołowych

Poniżej pokazano przykłady układów komór kołowych w bateriach silosowych. Przestrzenie międzykomorowe mogą być puste lub napełniane – zwane są wtedy komorami „gwiazdkowymi”.

Kąt środkowy łuków tworzących przestrzenie międzykomorowe zależy od liczby komór tworzących taką przestrzeń m . Dla $m = 3, 4, 5, 6$

$$\varphi' = \pi \left(1 - \frac{2}{m} \right).$$



Rys. Geometria komór „gwiazdkowych”

Fakt konstrukcyjnego połączenia ze sobą poszczególnych komór, a także wypełnienie składowym materiałem przestrzeni międzykomorowych, powoduje powstanie w ścianach silosu nie tylko poziomych sił osiowych, lecz także sił poprzecznych i momentów zginających.

W celu obliczenia sił wewnętrznych w strefach poza połączeniem komory z dnem i przekryciem postępuje się tak, jak w przypadku komór dzielonych ścianami działowymi. Zblokowane komory dzieli się myślowo na odcinki o wysokości 1 m i rozpatruje płaskie zagadnienie jednowymiarowych układów pierścieniowych (pierścieniowych ram zamkniętych), obciążonych parciem poziomym działającym na wysokości ramy. Analityczne ich rozwiązanie, dodatkowo z wariantowaniem obciążenia różnych komór, jest zadaniem bardzo skomplikowanym.

W obliczeniach komór środkowych schematem wyjściowym są łuki o węzłach nieprzesuwnych, a do obliczeń komór skrajnych baterii stosuje się schematy łuków o węzłach przesuwnych.

Rozpatrując pracę komór środkowych, przyjmuje się schemat łuku rozpiętego między skrajnymi punktami strefy styku komór sąsiadujących, zakładając nieprzesuwność jego podpór. W przypadku łuku

o kącie środkowym φ_0 , obciążonego wewnętrznym parciem p_h , w węzłach powstają siły styczne do łuku (równoleżnikowe), siły poprzeczne oraz momenty zginające.

Wartości sił węzłowych wynoszą

$$Q_A = \frac{p_h r}{\lambda^2 A_{\varphi_0} + B_{\varphi_0}},$$

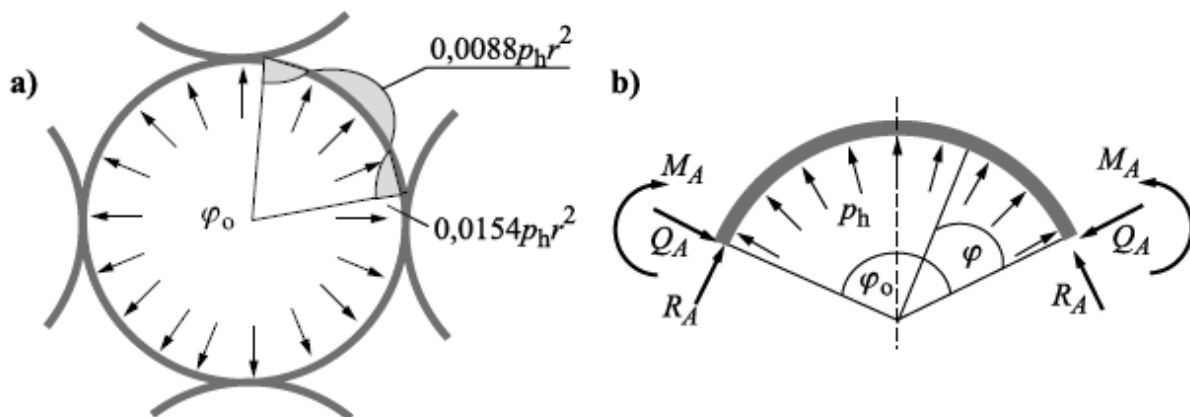
$$R_A = Q_A \operatorname{ctg} \frac{\varphi_0}{2} - p_h r,$$

$$M_A = Q_A r \left(\frac{2}{\varphi_0} - \operatorname{ctg} \frac{\varphi_0}{2} \right),$$

gdzie

$$A_{\varphi_0} = \frac{\varphi_0}{4 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}} + \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_0}{2} - \frac{2}{\varphi_0}, \quad B_{\varphi_0} = \frac{\varphi_0}{4 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}} + \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_0}{2}, \quad \lambda^2 = \frac{A_c r^2}{I_c},$$

Ac i I_c – pole przekroju i moment bezwładności przekroju łuku (w tym przypadku jednowymiarowych pierścieni szerokość przekroju wynosi 1 m, wysokość jest równa grubości ściany).



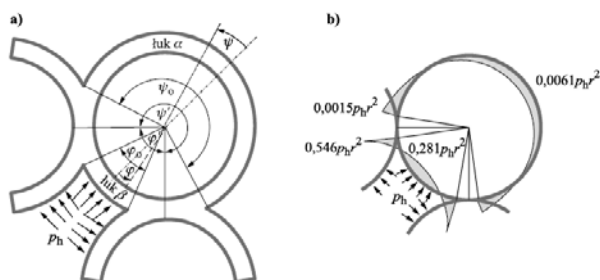
Rys. Schematy obliczeniowe komory środkowej w baterii silosów kołowych przy obciążeniu parciem materiału sypkiego wewnątrz komory: a) schemat przykładowej komory środkowej w baterii silosów, w której przestrzeń międzykomorowa powstaje na styku czterech komór ($\varphi' = 90^\circ$) i jej odcinek łukowy o kącie środkowym $\varphi_0 = 60^\circ$ wraz z wykresem momentów równoleżnikowych w ścianie komory od parcia poziomego, b) łuk o kącie środkowym φ_0 i podporach nieprzesuwnych obciążony parciem poziomym.

Siły przekrojowe w punkcie opisanym kątem φ wynoszą:

$$Q = Q_A \cos \varphi - (R_A + p_h r) \sin \varphi,$$

$$R = Q_A \left(\operatorname{ctg} \frac{\varphi_0}{2} \cos \varphi + \sin \varphi \right) - p_h r,$$

$$M = Q_A r \left(\frac{2}{\varphi_0} - \operatorname{ctg} \frac{\varphi_0}{2} \cos \varphi - \sin \varphi \right).$$



Rys. Komora zewnętrzna w baterii silosów przy obciążeniu parciem przestrzeni międzykomorowej według: a) schemat obliczeniowy, b) wykresy momentów równoleżnikowych w skrajnej komórce baterii w założeniu: $\varphi_0 = 60^\circ$, $\psi_0 = 240^\circ$, $\varphi' = 90^\circ$, $\psi' = 270^\circ$



NA PODSTAWIE:

Żelbetowe zbiorniki na ciecz i materiały sypkie

(Wydawnictwo Naukowe PWN, 2021),
autorzy: Anna Halicka, Dominika Joanna Franczak-Balmas

ZOBACZ

IBUK *libra*
NAJLEPSZA CZYTELNIĄ ONLINE

**Dzięki Twojej bibliotece czytasz
gdzie chcesz i kiedy chcesz!**

Wejdź na **libra.ibuk.pl**



Zapytaj w bibliotece,
jak zacząć korzystać
z IBUKA Libry



Pobierz Przewodnik
użytkownika ze strony
libra.ibuk.pl/pomoc



Wejdź na
facebook.com/PWNNauka
i dodaj do obserwowanych



Czytaj 24/7 na urządzeniach:



BETONOWE KONSTRUKCJE SPRĘŻONE

 **AUTORZY:**

Michał Knauff, Marcin Niedośpiół

13

Obliczenie nośności granicznej można oprzeć na założeniu, że oddziaływanie cięgien można zastąpić oddziaływaniem jednego „ciągną wypadkowego”, które leży na poziomie wypadkowej siły sprężającej. Jeżeli wszystkie ciągną są jednakowe i jednakowo sprężone, to wypadkowa siła sprężająca leży w środku ciężkości pola przekroju cięgien.

Czasem ciągną sprężające są rozmieszczane w dwóch grupach – w półkach przekroju. W takim przypadku lepiej odpowiada rzeczywistości obliczenie, w którym rozpatruje się osobno naprężenia w cięgnach w każdej z tych grup (tak jak np. w starszych polskich normach).

Obliczenie oparte na założeniu, że siła sprężająca jest skoncentrowana na poziomie wypadkowej, jest jednak prostsze i bardziej przejrzyste. Niekiedy trzeba dzielić siłę sprężającą na części. Jeżeli liczby cięgien w górnej i dolnej grupie są zbliżone, to osobne rozpatrywanie tych dwóch grup wydaje się konieczne.

W poniższych założeniach przyjęto, że ciągną można zastąpić jednym cięgnem wypadkowym. Odształcenia cięgną wypadkowego i stykającego się z nim betonu są równe. W sytuacji trwałej wyczerpanie nośności następuje na skutek osiągnięcia granicznych odkształceń w strefie ściskanej. Siła P_d w stanie granicznym jest równa $s_p f_{pd}$.

Podobnie jak w elementach żelbetowych może wystąpić wyczerpanie nośności przekroju ze

względu na stal lub ze względu na beton. Jeżeli pole przekroju zbrojenia jest małe lub umiarkowane, to w stali sprężającej osiąga się obliczeniowe naprężenie graniczne f_{pd} (zniszczenie ze względu na stal). Jeżeli pole przekroju stali sprężającej jest duże, to odkształcenia rozciąganej strefy przekroju są za małe do osiągnięcia f_{pd} i wyczerpanie nośności przekroju następuje na skutek osiągnięcia granicznej nośności strefy ściskanej (zniszczenie ze względu na beton), a naprężenie w cięgnach $\sigma_{pd} < f_{pd}$.

W konstrukcjach żelbetowych (niesprężonych) przekroje przebrojone (tzn. ulegające zniszczeniu ze względu na beton) są nieekonomiczne – zbrojenie nie jest w nich wykorzystane. W konstrukcjach sprężonych takie przekroje mogą być ekonomiczne, gdyż zbrojenie sprężające – „nadmierne” ze względu na nośność graniczną – może być potrzebne do spełnienia wymagań ze względu na zarysowanie.

Jeżeli w cięgnach sprężających osiąga się f_{pd} , w zbrojeniu A_{s1} osiąga się granicę plastyczności przy rozciąganiu, a w zbrojeniu A_{s2} granicę plastyczności przy ściskaniu (obydwie oznaczono przez f_{yd}), to z warunków równowagi wynikają

$$A_{cc}\eta f_{cd} + A_{s2}f_{yd} - A_{s1}f_{yd} = A_p f_{pd}, \quad (\text{wzór 1})$$

$$M_{Rd} = S_{cc}\eta f_{cd} + A_{s2}z_{s2}f_{yd} + A_{s1}z_{s1}f_{yd}. \quad (\text{wzór 2})$$

Uwaga. **Wzór 2** przedstawia moment zginający względem wypadkowej siły sprężającej. Wzór ten można zastąpić wzorem na moment względem

dowolnego punktu (np. względem krawędzi przekroju), gdyż siły narysowane po prawej stronie rysunku 10.1b są w równowadze i można je przedstawić jako parę równych sił, a moment takiej pary względem każdego punktu jest taki sam.

We wzorach 1 i 2 Acc oznacza pole strefy ściskanej, a Scc moment statyczny tego pola względem poziomu, na którym leży wypadkowa siła sprężająca. Acc i Scc są funkcjami zasięgu strefy ściskanej x . Jeżeli kształt przekroju jest określony, to podobnie jak w żelbecie ze wzoru 1 można ten zasięg wyznaczyć, a następnie podstawić do równania 2 i obliczyć moment graniczny MRd .

Po wyznaczeniu x ze wzoru 1 sprawdza się, czy – jak założono – naprężenia w każdej grupie zbrojenia osiągają granicę plastyczności. Jeżeli w którymkolwiek zbrojeniu granica ta nie jest osiągnięta, to we wzorach 1 i 2 należy zastąpić granicę plastyczności zbrojenia przez naprężenie obliczone na podstawie odkształcenia (odkształcenie jest funkcją x), stosując prawo Hooke'a, i ponownie rozwiązać równanie 1.

Odkształcenie cięgien sprężających zależy od przyrostu odkształcenia $\Delta\epsilon_p$. W normie znajduje się tylko ogólnikowa wskazówka dotycząca wyznaczania $\Delta\epsilon_p$ („...obliczając naprężenia w cięgnach sprężających, uwzględnia się początkowe odkształcenie tych cięgien...”).

Przez ϵ_{p0} oznacza się początkowe odkształcenie cięgna, tzn. odkształcenie wywołane sprężeniem. Odkształcenie cięgna w stanie granicznym jest sumą tego odkształcenia i przyrostu $\Delta\epsilon_p$ wywołanego przez obciążenia inne niż sprężenie

$$\epsilon_p = \epsilon_{p0} + \Delta\epsilon_p. \quad (\text{wzór 3})$$

Początkowe odkształcenie ϵ_{p0} występujące bezpośrednio po sprężeniu, wywołane siłą P_{m0} , jest większe niż odkształcenie, które wystąpi po długim czasie, gdy siła sprężająca spadnie na skutek zjawisk reologicznych.

Jeżeli wyczerpanie nośności następuje szybko po sprężeniu elementu i straty sprężenia nie mają

jeszcze istotnego znaczenia, to obliczając naprężenia w cięgnach, powinno się wziąć pod uwagę siłę sprężającą uszczuploną o straty doraźne (P_{m0}). Jeżeli wyczerpanie nośności ma nastąpić po długim czasie, to należałoby wziąć pod uwagę mniejszą (zmniejszoną o straty opóźnione) siłę sprężającą.

W praktyce nie wiadomo, kiedy wystąpi największe zagrożenie utratą nośności, a zatem za podstawę obliczeń przyjmuje się stan, który wystąpi dla $t \rightarrow \infty$.

Przyjmuje się zatem

$$\epsilon_{p0} = \frac{\sigma_{p\infty}}{E_p}. \quad (\text{wzór 4})$$

Ściskające naprężenie w betonie na poziomie cięgna wypadkowego jest wtedy równe

$$\sigma_{cp\infty} = \frac{P_{m\infty}}{A_c} + \frac{M_p z_{cp}}{J_c}. \quad (\text{wzór 5})$$

W powyższym wzorze MP oznacza moment zginający wywołany przez siłę sprężającą. Jeśli konstrukcja jest statycznie wyznaczalna, to $MP = Pz_{cp}$ i

$$\sigma_{cp\infty} = \frac{P_{m\infty}}{A_c} \left(1 + \frac{z_{cp}^2 A_c}{J_c} \right). \quad (\text{wzór 5a})$$

Skrócenie betonu wywołane tym naprężeniem

$$\epsilon_{cp\infty} = \frac{\sigma_{cp\infty}}{E_{cm}}. \quad (\text{wzór 6})$$

Do przekroju, który znajduje się w opisanym powyżej stanie, przykładamy moment zginający, który ma doprowadzić do wyczerpania nośności. Na poziomie wypadkowego cięgna obciążenie

to najpierw zmniejsza do zera skrócenia wywołane przez sprężenie (wtedy odkształcenie betonu osiąga poziom zerowy), a następnie wywołuje przyrost odkształcenia $\Delta \varepsilon_p$ do poziomu, który występuje w stanie granicznym nośności. Do osiągnięcia tego stanu potrzebne jest wydłużenie

$$\Delta \varepsilon_p = \varepsilon_{cp\infty} + \frac{d-x}{x} \varepsilon_{cu}.$$

(wzór 7)

Po podstawieniu do wzoru 3 odkształcenia danego wzorem 7 otrzymuje się

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{p0} + \varepsilon_{cp\infty} + \frac{d-x}{x} \varepsilon_{cu},$$

a następnie, na podstawie wzorów 4 i 6:

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_{p\infty}}{E_p} + \frac{\sigma_{cp\infty}}{E_{cm}} + \frac{d-x}{x} \varepsilon_{cu}.$$

(wzór 8)

Jeżeli odkształcenie cięgna określone tym wzorem jest mniejsze od $\varepsilon_{pd} = f_{pd} / E_p$, to w stali sprężającej nie osiąga się granicy plastyczności i do wzoru 1 w miejsce f_{pd} należy podstawić $E_p \varepsilon_p$ i wyznaczyć zasięg strefy ściskanej x z otrzymanego w ten sposób równania.



 NA PODSTAWIE:

Betonowe konstrukcje sprężone w budownictwie ogólnym

(Wydawnictwo Naukowe PWN, 2021),
autorzy: Michał Knauff, Marcin Niedosiał

ZOBACZ

Zainteresowały Cię nasze książki?

Znajdziesz je w:



IBUK *libra*

[Przejdź do IBUK libra](#)

IBUK Libra to czytelnia on-line czynna całą dobę. Dostępne w niej są tysiące e-booków oraz e-czasopism z niemal każdej dziedziny. Do IBUKA Libry możesz zalogować się z dowolnego miejsca, o każdej porze. Korzystanie z IBUKA Libry jest bezpłatne – poproś o dostęp w swojej bibliotece.



IBUK

[Przejdź do IBUK.pl](#)

IBUK.pl jest platformą pozwalającą kupować i wypożyczać e-booki. Można je wypożyczać zarówno pojedynczo – już od 4,92 PLN za dobę oraz w abonamentach – ceny zaczynają się od 19,90 PLN miesięcznie. W ofercie dostępne są także audiobooki.



PWN KSIĘGARNIA
INTERNETOWA

[Przejdź do ksiegarnia.pwn.pl](#)

Księgarnia Internetowa PWN oferuje szeroki zakres publikacji: podręczniki akademickie, książki naukowe i popularnonaukowe, słowniki języka polskiego i słowniki języków obcych. Znajdziesz w niej zarówno publikacje papierowe, jak i książki w wersji elektronicznej – e-booki i audiobooki.

Śledź nas na





Niniejszy e-book jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, które im przysługują.
Nie publikuj go w Internecie. Cytując jego fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło.
Kopiując jego część, rób to jedynie na użytek osobisty.

© Wydawnictwo Naukowe PWN SA
02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2

www.pwn.pl