

Michał Knauff
Agnieszka Golubińska
Piotr Knyziak

Przykłady obliczania konstrukcji żelbetowych

budynek ze stropami
płytowo-żebrowymi

zeszyt 1



PWN

Przykłady obliczania konstrukcji żelbetowych

Michał Knauff
Agnieszka Golubińska
Piotr Knyziak

Przykłady obliczania konstrukcji żelbetowych

budynek ze stropami
płytowo-żebrowymi

zeszyt 1

Projekt okładki i stron tytułowych **Agnieszka Machnicka**

Ilustracja na okładce **Imageman/Shutterstock**

Wydawca **Izabela Ewa Mika**

Redaktor prowadzący **Irena Puchalska**

Redaktor **Agnieszka Grabarczyk**

Produkcja **Mariola Grzywacka**

Łamanie **Ewa Szelatyńska, ScanSystem.pl**

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo
Więcej na www.legalnakultura.pl
Polska Izba Książki

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA
Warszawa 2015

ISBN 978-83-01-18159-8

Wydanie pierwsze

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2
tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288
infolinia 801 33 33 88
e-mail: pwn@pwn.com.pl

Druk i oprawa: Wrocławska Drukarnia Naukowa PAN

Spis treści

1. Wstęp	1
2. Opis techniczny	4
2.1. Charakterystyka obiektu	4
2.2. Oddziaływania	4
2.3. Warunki posadowienia	5
2.4. Schematy statyczne i metody obliczeń	5
2.5. Elementy konstrukcji	5
2.6. Materiały	6
2.7. Kategoria konstrukcji, klasa ekspozycji, wymagania ze względu na pożar	7
2.8. Dylatacje, przerwy robocze, zalecenia wykonawcze	7
Literatura	7
3. Płyta	9
3.1. Właściwości betonu, otulenie zbrojenia	9
3.2. Wymiary, schemat statyczny i obciążenia	10
3.3. Obliczenia statyczne	11
3.4. Wymiarowanie ze względu na graniczną nośność na zginanie	14
3.5. Stany graniczne użytkowości	15
4. Belka	17
4.1. Właściwości betonu, otulenie zbrojenia	17
4.2. Wymiary, schemat statyczny i obciążenia	18
4.3. Obliczenia statyczne	19
4.4. Wymiarowanie ze względu na graniczną nośność na zginanie	20
4.5. Ścinanie	22
4.6. Ścinanie między półką a środkiem	24
4.7. Stany graniczne użytkowości	27

5. Słupy środkowe	30
5.1. Wymiary, schemat statyczny, obciążenia i siły podłużne	30
5.2. Właściwości betonu, otulenie zbrojenia	33
5.3. Wymiarowanie	34
6. Słupy skrajne	41
6.1. Wymiary, schemat statyczny, obciążenia, siły podłużne i momenty zginające	41
6.2. Właściwości betonu, otulenie zbrojenia	46
6.3. Wymiarowanie	46
7. Wieńce, powiązania, przerwy w betonowaniu	51
8. Stopy fundamentowe słupów środkowych	52
8.1. Materiały, otulenie zbrojenia, obciążenia, wymiary	52
8.2. Zbrojenie na zginanie	54
8.3. Sprawdzenie ze względu na przebicie	55
9. Komentarze	58
Komentarz 3.1. Otulenie zbrojenia	58
Komentarz 3.2a. Graniczna smukłość płyt i belek	59
Komentarz 3.2b. Rozpiętość przęsła	62
Komentarz 3.2c. Zastępowanie ścian działowych obciążeniem zastępczym i sumowanie obciążeń zmiennych	62
Komentarz 3.4. Redystrybucja momentów zginających	65
Komentarz 4.5. Maksymalny rozstaw strzemion w belkach	67
Komentarz 4.6. Ścinanie między półką i środkiem	68
Komentarz 4.7. Sprawdzanie stanów granicznych użyteczności	70
Komentarz 5.1. Założenia do obliczeń słupów	71
Komentarz 5.2. Wymagania ze względu na pożar	73
Komentarz 5.3a. Korzystanie z krzywych granicznych dla nieodpowiednich wartości a/d	74
Komentarz 5.3b. Efektywny współczynnik pełzania	75
Komentarz 5.3c. Współczynnik μ_{fi}	76
10. Komentarze do rysunków umieszczonych na płycie CD	78
Komentarz R1. Przerwy robocze i połączenia zbrojenia w tych przerwach	78
Komentarz R2. Wymiarowanie strzemion	82
11. Spis rysunków umieszczonych na płycie CD	86

W roku 2013 została wydana przez Wydawnictwo Naukowe PWN nasza książka: *Tablice i wzory do projektowania konstrukcji żelbetowych z przykładami obliczeń* [1], która spotkała się z przychylnym przyjęciem czytelników i zyskała sobie dużą popularność. Prawie każdy rozpatrywany tam problem jest zilustrowany przykładem, ale te przykłady są krótkie i przedstawiają zastosowanie książki do omawianych oddzielnie, niezależnych zagadnień.

Uznaliśmy, że pożyteczny byłby obszerniejszy, kompletny przykład dotyczący całej budowl, zawierający ocenę oddziaływań i współpracy poszczególnych części konstrukcji, a problemy obliczania elementów konstrukcji rozpatrujący w szerszym kontekście. W związku z gwałtowną zmianą prawie wszystkich norm projektowania, spowodowaną wprowadzeniem norm europejskich, taki przykład może być pożyteczny nie tylko dla studentów, ale także dla doświadczonych konstruktorów.

Dawniej bardzo rozpowszechnione były książki z przykładami, takie jak np. opracowania autorstwa Eugeniusza Czyża, w których można było znaleźć dane liczbowe, wzory i obszerne przykłady przedstawione w formie bardzo ułatwiającej projektowanie. Również w *Konstrukcjach żelbetowych* Jerzego Kobiaka i Wiesława Stachurskiego i w wielu innych powszechnie znanych książkach umieszczano przykład projektowania stropu płytowo-żebrowego. Staraliśmy się opracować tego rodzaju przykład, chociaż od czasów, w których te książki były aktualne, bardzo wiele się zmieniło. Nastąpił bardzo znaczny przyrost wiedzy. Normy dziś stosowane są znacznie obszerniejsze i bardziej drobiazgowo niż dawniej, co powoduje, że przykład projektowania nie może już być bardzo krótki i wymaga komentarzy.

Kierując się tymi ustaleniami, oddajemy dziś do rąk czytelników – inżynierów i studentów budownictwa – przykład projektowania konstrukcji złożonej z podstawowych elementów, z których składają się konstrukcje

żelbetowe: płyt, belek, słupów i fundamentów. Naszym zamiarem było przedstawienie w postaci jak najkrótszej przykładowego projektu, który wyczerpuje i spełnia wszystkie wymagania norm. Przykład opatrzyliśmy komentarzami zawartymi w rozdziale 9 książki. W tekście przykładowego projektu też niekiedy znajdują się wyjaśnienia, których nie trzeba umieszczać w projekcie, a więc zwykły projekt będzie krótszy od umieszczonego w książce.

Treścią książki jest przede wszystkim przykład, a podstawą, na której opierają się obliczenia i z której czerpie się zasady konstruowania, jest książka *Tablice i wzory do projektowania konstrukcji żelbetowych z przykładami obliczeń* [1]. Odnośniki w tekście przykładowego projektu dotyczą przede wszystkim tej książki; tablice i algorytmy nie są w przykładzie powtórzone. Zakładamy zatem, że czytelnik ma tę książkę do dyspozycji.

Te same lub podobne tablice można znaleźć w normach i w innych książkach, ale nie ma w nich kilku istotnych algorytmów i tablic, opracowanych przez nas. Wszystkie zastosowane w przykładzie wzory i tablice doprowadzają do wyników zgodnych z ogólnymi metodami opisanymi w aktualnej normie, chociaż mogą nie być ściśle zgodne z metodami uproszczonymi, które są w tej normie zalecane (np. sprawdzanie szerokości rys).

Rysunki konstrukcji przedstawiono na załączonej do książki płycie CD.

Dzięki analizom i oryginalnym tablicom w kilku punktach udało się nam uzyskać istotne skrócenie obliczeń, bez utraty dokładności, w porównaniu z powszechnie stosowanymi algorytmami (np. ścinanie, sprawdzanie szerokości rys, ugięcie i minimalnego zbrojenia).

Literatura cytowana w przykładzie składa się wyłącznie z norm i kilku artykułów, w których znajdują się uzasadnienia użytych przez nas oryginalnych algorytmów, opracowanych już po ukazaniu się pierwszego wydania *Tablic i wzorów do projektowania...* [1]. Oczywiście, nasza praca jest oparta na bogatym dorobku innych autorów – obszerniejszy wykaz piśmiennictwa znajduje się w [1].

Przykład, który rozpatrujemy, nie wymaga skomplikowanych i długich obliczeń statycznych i może być w całości wykonany za pomocą kalkulatora, a czytelnik może prześledzić wszystkie operacje arytmetyczne. Jak wiadomo, dzisiaj w bardzo wielu projektach stosuje się programy komputerowe zarówno do obliczeń statycznych, jak i do wymiarowania i rozmieszczania zbrojenia. Przykład wspomaganego komputerowo projektowania stropu płaskiego mamy zamiar rozpatrzeć w kolejnym zeszyście.

Warto już we Wstępie poświęcić parę słów najważniejszym różnicom w stylach projektowania według dawnych norm i według norm dzisiejszych. Dawniej przepisy dotyczące otulenia były bardzo proste. Dzisiaj znaczny nacisk położony w normach na wymagania dotyczące trwałości i odporności na pożar powoduje, że istotną rolę w projektowaniu każdego elementu odgrywa

wyznaczanie grubości otulenia zbrojenia, zwłaszcza w elementach, które powinny osiągać dużą odporność R . Dlatego w naszym przykładzie projekt każdego elementu rozpoczyna się od analizy otulenia, której nadaliśmy postać tabelaryczną, pozwalającą na systematyczne rozpatrzenie wielu uwarunkowań, wynikających z kilku norm.

Tu trzeba dodać, że spotykane jeszcze w wielu projektach tradycyjne podejście, polegające na tym, że grubość otulenia przedstawia się na rysunkach jedną liczbą, która określa tylko wartość nominalną tej grubości c_{nom} , trudno uznać za wystarczające. Na rysunkach należy umieścić wartości c_{nom} i odchyłki Δc_{dev} – tylko wtedy można sprawdzić w naturze, czy ułożone zbrojenie będzie miało otulenie zgodne z projektem.

Jak wiadomo, w wielu obliczeniach związanych z projektowaniem stosuje się metodę kolejnych przybliżeń. Tylko niektóre problemy dają się uporządkować w taki sposób, żeby algorytm, polegający na bezwarunkowym wykonywaniu kolejnych kroków, doprowadzał do rozwiązania spełniającego wszystkie wymagania. Z tego powodu dużą wagę przykładaliśmy do kolejności obliczeń – staraliśmy się, żeby ta kolejność bez zbędnych, nieudanych prób jak najprędzej doprowadzała do ekonomicznego wyniku, zarówno w tym przykładzie, jak i w innych, podobnych przykładach.

Podobnie jak w *Tablicach i wzorach do projektowania konstrukcji żelbetowych z przykładami obliczeń* [1] pragniemy w tej książce spełnić oczekiwania czytelników, którzy chcieliby mieć do dyspozycji „coś prostego i krótkiego”, co umożliwiłoby studentowi zapoznanie się z podstawami projektowania żelbetu, a projektantowi, który nie jest zainteresowany zgłębianiem teorii, projektowanie tych prostych konstrukcji żelbetowych, które są najczęściej stosowane. Pomimo powszechnego stosowania komputerów wielu inżynierów ciągle lubi posługiwać się wykresami i tablicami. I tak np. w Niemczech ciągle ukazują się nowe wydania tablic i wykresów do projektowania. My też uważamy, że do rozwiązywania prostych problemów warto stosować jak najprostsze metody.

Mając nadzieję, że nasza praca nie ustępuje nadmiernie osiągnięciom naszych znakomitych poprzedników, oddajemy dziś w ręce czytelników – inżynierów i studentów budownictwa – przykład projektowania prostej konstrukcji żelbetowej, w którym – jak sądzimy – zilustrowaliśmy najważniejsze algorytmy i zasady konstruowania.