

Łukasz Drobiec
Radosław Jasiński
Adam Piekarczyk

KONSTRUKCJE MUROWE



WEDŁUG EUROKODU 6
I NORM ZWIĄZANYCH

2

WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

KONSTRUKCJE MUROWE

WEDŁUG EUROKODU 6
I NORM ZWIĄZANYCH

Łukasz Drobiec
Radosław Jasiński
Adam Piekarczyk

KONSTRUKCJE MUROWE

WEDŁUG EUROKODU 6
I NORM ZWIĄZANYCH



WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN
WARSZAWA 2014

2

Projekt okładki i stron tytułowych **Agnieszka Machnicka**

Ilustracja na okładce **Zastolskiy Victor/Shutterstock**

Recenzenci **prof. dr hab. inż. Romuald Orłowicz**
mgr inż. Lech Misiewicz

Autorzy poszczególnych rozdziałów

Łukasz Drobiec – rozdz. 1 (wspólnie z R. Jasińskim), 5 (wspólnie z R. Jasińskim i A. Piekarczykiem) oraz 7

Radosław Jasiński – rozdz. 1 (wspólnie z Ł. Drobciem), 2, 5 (wspólnie z Ł. Drobciem i A. Piekarczykiem) oraz 6

Adam Piekarczyk – rozdz. 3, 4 oraz 5 (wspólnie z Ł. Drobciem i R. Jasińskim)

Wydawca **Izabela Ewa Mika**

Redaktor prowadzący **Irena Puchalska**

Redaktor **Agnieszka Grabarczyk**

Produkcja **Mariola Grzywacka**

Łamanie **Ewa Szelatyńska, Scan-System**

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 2014

ISBN: 978-83-01-17861-1 t. 2
978-83-01-17294-7 całość

Wydanie I

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
infolinia 801 33 33 88
tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288
e-mail: pwn@pwn.com.pl, www.pwn.pl

Druk i oprawa:

Ogólny spis treści

TOM I

Wprowadzenie

1. Ustalenia ogólne
2. Podstawy projektowania
3. Materiały
4. Trwałość
5. Wymagania konstrukcyjne
6. Wykonawstwo konstrukcji murowych
7. Niezbrojone ściany murowe obciążone głównie pionowo
8. Ściany obciążone siłą skupioną

TOM II

1. Mur w złożonych stanach naprężeń
2. Niezbrojone ściany murowe poddane obciążeniom ścinającym
3. Niezbrojone ściany murowe zginane z płaszczyzny
4. Niezbrojone ściany murowe zginane w płaszczyźnie
5. Ściany murowe poddane łącznie obciążeniom pionowym i prostopadłym do ich powierzchni
6. Ściany usztywniające
7. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe

TOM III

1. Zbrojone części konstrukcji murowych poddane zginaniu, zginaniu i osiowemu ściskaniu lub tylko obciążeniu osiowemu
2. Zbrojone części konstrukcji murowych poddane ścinaniu
3. Kotwy
4. Mury sprężone
5. Mury skrzepowane
6. Stan graniczny użyteczności

Spis treści

Wprowadzenie	XI
Podstawowe oznaczenia	XIII
1. Mur w złożonych stanach naprężeń	1
1.1. Wprowadzenie	1
1.2. Złożone stany naprężeń w zapisach EC6	5
1.3. Analizy murów w złożonym stanie naprężenia	6
1.3.1. Zaawansowane obliczenia konstrukcji murowych	6
1.3.2. Sposób opisu powierzchni granicznych	7
1.4. Najważniejsze teorie zniszczenia i powierzchnie graniczne związane z nimi ..	13
1.4.1. Opis zachowania materiału przed i po zniszczeniem	13
1.4.2. Hipotezy wytrzymałościowe i teorie zniszczenia	15
1.4.3. Kryteria zniszczenia materiałów z kohezją	17
1.4.4. Hipotezy przeznaczone do opisu materiałów ciągliwych	59
1.4.5. Modele uwzględniające plastyczne właściwości materiału	65
1.5. Powierzchnie graniczne stosowane do analiz konstrukcji murowych	84
1.5.1. Sposób określania powierzchni granicznych	84
1.5.2. Kryteria empiryczne	85
1.5.3. Teoretyczne kryteria wykorzystywane do analizy zniszczenia muru	104
Literatura do rozdziału 1	131
2. Niezbrojone ściany murowe poddane obciążeniom ścinającym	139
2.1. Podstawowe definicje	139
2.2. Podstawy teoretyczne	141
2.2.1. Metody badań ścinania ścian	142
2.2.2. Modele obliczeniowe ścian	160
2.3. Nośność i odkształcalność ścian ścinanych poziomo według zaleceń normowych	210
2.3.1. Polskie normy	210
2.3.2. Normy europejskie	212

2.3.3. Inne normy	239
2.4. Ustalenia przyjęte w Eurokodzie 6	243
2.4.1. Metoda ogólna	244
2.4.2. Metoda uproszczona	270
2.4.3. Sprawdzenie nośności ściany ze względu na obciążenia pionowe	275
2.4.4. Sprawdzenie nośności na ścinanie pionowe	277
2.5. Algorytm projektowania ściany poddanej poziomemu ścinaniu	277
2.5.1. Metoda ogólna według normy PN-EN 1996-1-1	277
2.5.2. Metoda uproszczona według normy PN-EN 1996-3	285
2.6. Przykłady obliczeń	289
Literatura do rozdziału 2	319
3. Niezbrojone ściany murowe zginane z płaszczyzny	326
3.1. Analiza konstrukcji ścian murowych obciążonych prostopadle do ich płaszczyzny	327
3.2. Stan graniczny nośności niezbrojonych ścian zginanych z płaszczyzny muru ..	373
3.3. Ściany wypełniające zginane z płaszczyzny	406
3.4. Konstrukcja ścian działowych	422
3.5. Algorytmy projektowania ścian zginanych z płaszczyzny według normy PN-EN 1996-1-1	426
3.6. Przykłady obliczeń ścian zginanych z płaszczyzny	428
Literatura do rozdziału 3	441
4. Niezbrojone ściany murowe zginane w płaszczyźnie	444
4.1. Ściany murowane współpracujące z podpierającymi je belkami	448
4.1.1. Metody obliczeniowe	457
4.1.2. Badania doświadczalne i analizy numeryczne	492
4.2. Obciążenia nadproży	511
4.3. Przykład określania sił wewnętrznych w belce podpierającej murowaną ścianę	521
Literatura do rozdziału 4	531
5. Ściany murowe poddane łącznie obciążeniom pionowym i prostopadłym do ich powierzchni	534
5.1. Podstawowe definicje	534
5.2. Podstawy teoretyczne	534
5.2.1. Metody badań	534
5.2.2. Analizy i modele obliczeniowe	539
5.3. Ustalenia przyjęte w Eurokodzie 6	550
5.3.1. Kryteria nośności ściany obciążonej mimośrodowo według metody II	552
5.3.2. Kryteria nośności ściany obciążonej głównie pionowo według metody I	567
5.3.3. Propozycja kryteriów nośności ściany obciążonej głównie pionowo według metody I z uwzględnieniem naprężeń rozciągających w przekroju	569
5.3.4. Kryteria nośności ściany obciążonej pionowo i poziomo według metody III	572

5.4.	Algorytm projektowania ścian poddanych łącznie obciążeniom pionowym i prostopadłym do powierzchni	574
5.4.1.	Budowa wykresów interakcji metodą uproszczoną	574
5.4.2.	Obliczenia ściany piwnicy metodą uproszczoną według PN-EN 1996-3	576
5.5.	Przykłady obliczeń	577
	Literatura do rozdziału 5	627
6.	Ściany usztywniające	630
6.1.	Podstawowe definicje	630
6.2.	Charakterystyka układów ścianowych i układów usztywniających	632
6.3.	Podstawy teoretyczne	641
6.3.1.	Wybrane badania ścian i budynków	642
6.3.2.	Modele obliczeniowe ścian	666
6.3.3.	Rozkład obciążeń na ściany usztywniające	705
6.3.4.	Zagadnienia ścian usztywniających według zaleceń normowych	720
6.4.	Ustalenia przyjęte w Eurokodzie 6	740
6.4.1.	Zasady obliczania ścian usztywniających według PN-EN 1996-1-1	741
6.4.2.	Zasady obliczania ścian usztywniających według PN-EN 1996-3	753
6.5.	Algorytm projektowania ścian usztywniających	756
6.5.1.	Metoda ogólna według normy PN-EN 1996-1-1	756
6.5.2.	Metoda uproszczona według normy PN-EN 1996-3	764
6.6.	Przykłady obliczeń	766
6.6.1.	Opis analizowanego budynku	767
	Literatura do rozdziału 6	806
7.	Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe	812
7.1.	Definicje związane z projektowaniem z uwagi na warunki pożarowe	812
7.2.	Podstawy teoretyczne	813
7.2.1.	Przebieg pożaru w budynku	813
7.2.2.	Bilans energetyczny pożaru	818
7.2.3.	Długość płomienia pożaru	823
7.2.4.	Krzywe temperatura-czas i modele pożaru	829
7.2.5.	Normowe krzywe temperatura-czas	834
7.2.6.	Odporność ogniowa elementu konstrukcji	836
7.2.7.	Normowe badania odporności ogniowej	839
7.2.8.	Projektowanie murowanych ścian z uwzględnieniem odporności ogniowej przed wprowadzeniem Eurokodów	852
7.3.	Ustalenia przyjęte w normie PN-EN 1991-1-2	855
7.3.1.	Procedura projektowania konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe	855
7.3.2.	Projektowanie według reguł tradycyjnych	857
7.3.3.	Projektowanie według zasad ustalanych na podstawie właściwości użytkowych	859
7.3.4.	Oddziaływania i kombinacje oddziaływań	862

7.4. Ustalania przyjęte w normie PN-EN 1996-1-2	863
7.4.1. Podstawowe założenia	863
7.4.2. Materiały z uwagi na warunki pożarowe	864
7.4.3. Wartości obliczeniowe właściwości materiałowych	865
7.4.4. Metody oceny konstrukcji murowych z uwagi na warunki pożarowe ...	866
7.4.5. Warunki konstrukcyjne	880
7.5. Algorytmy projektowania z uwagi na warunki pożarowe	884
7.5.1. Algorytm określania odporności ogniowej metodą tabelaryczną (kryte- rium REI i EI)	885
7.5.2. Algorytm obliczania odporności ogniowej metodą uproszczoną (kryte- rium R)	886
7.6. Przykład określenia odporności ogniowej ściany	892
7.6.1. Opis analizowanego budynku	892
Literatura do rozdziału 7	896

Wprowadzenie

Od niemal czterech lat w zbiorze norm polskich znajdują się europejskie normy dotyczące projektowania konstrukcji – Eurokody, będące efektem prawie czterdziestoletniej międzynarodowej współpracy. Normy europejskie zastąpiły funkcjonujące od 1978 roku obszerne, międzynarodowe wytyczne dotyczące zapewnienia niezawodności konstrukcji metodą częściowych współczynników bezpieczeństwa – tzw. prenormy europejskie.

Przystępując przed dziesięcioma laty do Unii Europejskiej, Polska zobowiązała się do wprowadzenia Eurokodów i norm związanych zarówno w projektowaniu, jak i realizacji obiektów budowlanych. Obecnie Eurokody obejmują 10 pakietów tematycznych, szczegółowo omawiających ogólne zasady zapewnienia niezawodności oraz projektowania poszczególnych rodzajów konstrukcji.

Szósty pakiet tematyczny (EC6) dotyczący konstrukcji murowych podzielony został na cztery części i obejmuje zagadnienia projektowania, wykonawstwa i utrzymania niezbrojonych, zbrojonych, sprężonych i skrępowanych konstrukcji murowych budynków i obiektów budowlanych lub ich części. Zapisy wszystkich czterech części Eurokodu 6 dotyczą wymagań w zakresie bezpieczeństwa, użytkowania i trwałości konstrukcji, a inne wymagania odnośnie izolacyjności termicznej lub dźwiękowej są zawarte w innych normach europejskich lub Dyrektywach Unii Europejskiej. W EC6 omówiono również kwestie wykonawstwa, ale tylko w zakresie niezbędnym do ustalenia wymagań dotyczących jakości zastosowanych materiałów i wyrobów oraz jakości wykonania robot na budowie.

Pierwszy tom książki *Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych* wydany w 2013 roku dotyczył problemów podstaw projektowania konstrukcji murowych, zagadnień materiałowych, trwałości, warunków konstrukcyjnych przy wznoszeniu i projektowaniu murów oraz wykonawstwa konstrukcji. Podczas omawiania poszczególnych zagadnień nie ograniczono się tylko do przedstawiania zaleceń Eurokodu 6, lecz starano się wyjaśnić genezę ich powstania i opisać inne zalecenia.

W drugim tomie książki, którego układ jest zbieżny z treścią Eurokodu i jest kontynuacją tomu pierwszego, przedstawiono zagadnienia związane głównie z zachowaniem się murów w złożonym stanie naprężenia, projektowaniem niezbrojonych ścian poddanych zginaniu i ścinaniu lub ściskaniu i jednoczesnemu zginaniu oraz projektowaniu konstrukcji murowych z uwagi na warunki pożarowe. W poszczególnych rozdziałach zamieszczono opracowane na podstawie zaleceń EC6 algorytmy projektowania zilustrowane przykładami obliczeń ścian. Książka wzbogacona jest licznymi rysunkami, tablicami i fotografiami pochodzącymi nie tylko z literatury, ale także doświadczeń własnych autorów.

Do książki dołączono płytę CD z programem komputerowym Kalkulator Konstrukcji Murowych z pakietu SPECBUD, który umożliwi obliczenia wybranych konstrukcji murowych.

Ze względu na kompleksowe ujęcie problemu projektowania konstrukcji murowych – książka adresowana jest zarówno do studentów kierunku budownictwo, kierunku architektura, jak i praktykujących inżynierów oraz rzeczoznawców budowlanych.

Książka pomyślana została jako praca trzyczęściowa. W tomie trzecim zawarte zostaną zasady projektowania zbrojonych i sprężonych konstrukcji murowych, murów skrępowanych oraz murów stanowiących wypełnienia ustrojów szkieletowych w różnych stanach obciążenia.

Autorzy pragną bardzo serdecznie podziękować opiniodawcom drugiego tomu książki prof. dr. hab. inż. Romualdowi Orłowiczowi oraz mgr. inż. Leszkowi Misiewiczowi za cenne uwagi, dzięki którym wyeliminowano oczywiste błędy, a praca stała się bardziej czytelna. Za ciągłą motywację do pracy autorzy wyrażają szczególne podziękowania prof. dr. hab. inż. Włodzimierzowi Starosolskiemu i prof. dr. hab. inż. Adamowi Zyburze.

Słowa podziękowania należą się również dr. inż. Marianowi Kazkowi, mgr. inż. Mariuszowi Machejowi i mgr. inż. Wojciechowi Kazkowi z firmy SPECBUD za udostępnienie oprogramowania komputerowego oraz mgr. inż. arch. Robertowi Grzywnowiczowi z firmy Projektowanie Architektoniczno-Budowlane za udostępnienie projektów architektonicznych do przykładów obliczeniowych. Szczególne podziękowania składamy sponsorom, których pomoc rozwiązała wiele problemów.

Podobnie jak w przypadku tomu pierwszego, jesteśmy świadomi możliwości popełnienia błędów, zbagatelizowania lub wręcz pominięcia niektórych problemów. Bylibyśmy niezmiernie wdzięczni za przesyłanie uwag oraz informacji o pomyłkach, czy błędach na adresy autorów poszczególnych rozdziałów: lukasz.drobiec@polsl.pl, radoslaw.jasinski@polsl.pl, adam.piekarczyk@polsl.pl.

Lukasz Drobiec
Radosław Jasiński
Adam Piekarczyk

Podstawowe oznaczenia

Duże litery łacińskie

- A – pole powierzchni, parametr doświadczalny
- A_{brutto} – pole przekroju brutto
- A_{locd} – pole powierzchni ściany, z którego obciążenie przekazywane jest na nadproże
- A_n – pole powierzchni poprzecznego przekroju muru (wzdłuż przekątnej)
- A_{netto} – pole powierzchni netto elementu murowego (po potrąceniu pionowych drążków)
- A_s – pole przekroju poprzecznego stali zbrojenia
- A_{sw} – sumaryczne pole przekroju poprzecznego stali zbrojenia
- B – długość budynku; sztywność giętna poprzecznego przekroju ($B = EI$); parametr doświadczalny
- C – sztywność pasma łączącego sprowadzona na jednostkę wysokości; współczynnik koncentracji naprężenia ściskającego
- D – wysokość przekroju zginanego; długość ściany poza krawędzią belki; współczynnik
- E – doraźny moduł sprężystości muru; wartość średnia doraźnego modułu sprężystości muru, wyznaczona zgodnie z PN-EN 1052-1:2000
- E_{∞} – długotrwały moduł sprężystości muru (uwzględniający efekt odkształceń reologicznych)
- E_0 – początkowy moduł sprężystości muru przy $\sigma = 0$
- E_a – wypadkowa czynnego parcia gruntu na ścianę
- E_c – moduł sprężystości betonu lub materiału, z którego wykonano belkę współpracującą z murowaną ścianą
- E_{cm} – sieczny moduł sprężystości betonu wypełniającego
- E_d – obliczeniowa wartość obciążenia

- E_i – moduł sprężystości pojedynczego elementu próbnego
 E_{longterm} – długotrwały moduł sprężystości muru
 E_m – moduł sprężystości zaprawy
 EQU – utrata równowagi statycznej konstrukcji lub jakiegokolwiek jej części uważanej za ciało sztywne
 F – siła zewnętrzna; pole powierzchni pasma ściennego; wypadkowa obciążenia; współczynnik
 F_c – siła niszcząca badany element próbny; siła wypadkowa w ściskanej strefie przekroju
 F_d – obliczeniowa nośność na ściskanie lub rozciąganie
 $F_{i,\text{max}}$ – maksymalne obciążenie pojedynczego elementu próbnego
 F_t – siła wypadkowa w rozciąganej strefie przekroju
 F_{tkl} – charakterystyczna nośność na rozciąganie prefabrykowanej części nadproża zespolonego
 F_v – wypadkowa siła ścinająca
 G – oddziaływanie stałe, moduł ścinania (Kirchoffa)
 H – całkowita wysokość budynku; siła pozioma działająca na budynek; współczynnik naprężenia rozciągającego w stali zbrojeniowej belki współpracującej z murem
 I – moment bezwładności przekroju
 I_{ω} – moment bezwładności ścian usztywniających względem środka skręcania ($I_{\omega} = \sum a_{ij}^2 I_j$) służący do wyznaczania sztywności skrętnej budynku
 I_1 – pierwszy niezmiennik stanu naprężenia
 I_d – współczynnik uszkodzenia
 I_i – moment bezwładności elementu i
 I_j – moment bezwładności elementu względem głównej osi bezwładności $j = x, y$
 I_s – moment bezwładności całkowitego przekroju zbrojenia, obliczany względem osi przechodzącej przez środek ciężkości przekroju sprowadzonego
 J_2 – drugi niezmiennik dewiatora stanu naprężenia
 J_3 – trzeci niezmiennik dewiatora stanu naprężenia
 K – stała stosowana do obliczania wytrzymałości muru na ściskanie; stosunek modułów sprężystości muru E_x/E_y ; współczynnik
 K_a – współczynnik efektywnego czynnego parcia gruntu
 K_e – sprężysta sztywność ściany poziomo ścinanej cyklicznie
 K_E – cecha sprężystości muru
 K_M – sztywność na zginanie ściany lub pręta
 K_S – sztywność na ścinanie ściany lub pręta (oznaczana także jako K_F)
 L – długość budynku; rozpiętość stropu
 L_{eff} – efektywna długość ściany
 M – moment zginający