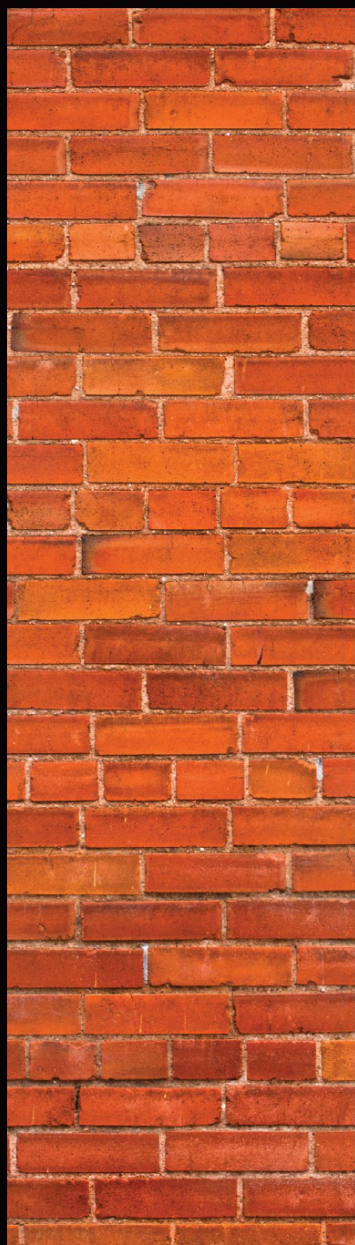


Łukasz Drobiec
Radosław Jasiński
Adam Piekarczyk

KONSTRUKCJE MUROWE

WEDŁUG EUROKODU 6
I NORM ZWIĄZANYCH



1

WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

KONSTRUKCJE MUROWE

WEDŁUG EUROKODU 6
I NORM ZWIĄZANYCH

*Książkę dedykujemy pamięci
prof. dr. inż. Bohdana Lewickiego dr. h.c.*

Autorzy

Łukasz Drobiec
Radosław Jasiński
Adam Piekarczyk

KONSTRUKCJE MUROWE

WEDŁUG EUROKODU 6
I NORM ZWIĄZANYCH



WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN
WARSZAWA 2013



Projekt okładki i stron tytułowych **Agnieszka Machnicka**

Ilustracja na okładce **D2 Photography/Shutterstock**

Recenzent **prof. dr hab. inż. Romuald Orłowicz**

Autorzy poszczególnych rozdziałów

Łukasz Drobiec – rozdz. 5 (wspólnie z R. Jasińskim), 6, 7 i 8

Radosław Jasiński – rozdz. 1 i 2, 5 (wspólnie z Ł. Drobcem)

Adam Piekarczyk – rozdz. 3 i 4

Wydawca **Izabela Ewa Mika**

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 známym. 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 2013

ISBN: 978-83-01-17293-0 t. 1
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

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. Mury w złożonym stanie naprężenia
2. Niezbrojone ściany murowe poddane obciążeniom ścinającym
3. Niezbrojone ściany murowe zginane z płaszczyzny
4. Niezbrojone ściany murowe zginane w płaszczyźnie
5. Niezbrojone 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	XIII
Podstawowe oznaczenia	XV
1. Ustalenia ogólne	1
1.1. Geneza Eurokodów	1
1.2. Struktura Eurokodów	6
1.3. Różnice pomiędzy zasadami i regułami stosowania	8
1.4. Zakres Eurokodu 6	8
1.4.1. Zakres Części 1–1 Eurokodu 6	9
1.4.2. Zakres Części 1–2 Eurokodu 6	10
1.4.3. Zakres Części 2 Eurokodu 6	10
1.4.4. Zakres Części 3 Eurokodu 6	11
1.5. Powołania normatywne	11
1.6. Założenia	13
1.7. Terminy i definicje	13
1.7.1. Wspólne terminy	13
1.7.2. Szczególne terminy dotyczące projektowania	14
1.7.3. Terminy dotyczące oddziaływań	16
1.7.4. Terminy dotyczące właściwości materiału i wyrobu	18
1.7.5. Terminy dotyczące wielkości geometrycznych	18
1.7.6. Terminy dotyczące analizy konstrukcji	18
1.7.7. Terminy dotyczące muru	19
1.7.8. Terminy dotyczące wytrzymałości muru	20
1.7.9. Terminy dotyczące elementów murowych	20
1.7.10. Terminy dotyczące zaprawy murarskiej	21
1.7.11. Terminy dotyczące betonu wypełniającego	22
1.7.12. Terminy dotyczące zbrojenia	22
1.7.13. Terminy dotyczące wyrobów dodatkowych	22
1.7.14. Terminy dotyczące spoin w murze	22

1.7.15. Terminy dotyczące rodzajów ścian	23
1.7.16. Różne terminy	24
Literatura do rozdziału 1	24
2. Podstawy projektowania	27
2.1. Wstęp	27
2.2. Zapewnienie niezawodności konstrukcji	28
2.3. Sprawdzanie niezawodności konstrukcji metodami probabilistycznymi	39
2.3.1. Wskaźnik niezawodności konstrukcji	40
2.3.2. Wskaźnik niezawodności Cornella	43
2.3.3. Wskaźnik niezawodności Hasofer–Linda	44
2.4. Stany graniczne konstrukcji budowlanych	49
2.5. Metoda współczynników częściowych	50
2.5.1. Warunek niezawodności w metodzie współczynników częściowych ..	50
2.5.2. Współczynniki częściowe i ich kalibrowanie	53
2.5.3. Oddziaływania	62
2.5.4. Wartości obliczeniowe parametrów materiałowych i oddziaływań ...	101
2.6. Efekt łączny oddziaływań. Kombinacje obciążeń	109
2.7. Stany graniczne nośności ULS	115
2.8. Stany graniczne użytkowości SLS	119
2.9. Projektowanie wspomagane badaniami	125
Literatura do rozdziału 2	136
3. Materiały	141
3.1. Elementy murowe	141
3.1.1. Zakres badań i wymagania dotyczące elementów murowych	143
3.1.2. Kategorie elementów murowych	147
3.1.3. Grupy elementów murowych	148
3.1.4. Wytrzymałość na ściskanie	148
3.2. Zaprawa	158
3.2.1. Rodzaje i funkcje zapraw murarskich	158
3.2.2. Specyfikacje i właściwości zapraw murarskich	159
3.2.3. Określanie wytrzymałości na ściskanie zaprawy murarskiej	163
3.2.4. Przyczepność między zaprawą i elementami murowymi	172
3.3. Beton wypełniający	195
3.4. Stal zbrojeniowa	198
3.4.1. Właściwości prętów zbrojeniowych	198
3.4.2. Właściwości zbrojenia do spoin wspornych	202
3.5. Stal sprężająca	204
3.6. Parametry wytrzymałościowe muru	207
3.6.1. Wytrzymałość muru na ściskanie	208
3.6.2. Wytrzymałość muru na ścinanie	253
3.6.3. Wytrzymałość muru na rozciąganie	282
3.6.4. Przyczepność zbrojenia do zaprawy lub betonu wypełniającego	299

3.7. Właściwości odkształceniowe muru	302
3.7.1. Zależność naprężenie-odkształcenie	302
3.7.2. Moduł sprężystości	306
3.7.3. Moduł ścinania	311
3.7.4. Pełzanie, rozszerzalność pod wpływem wilgoci lub skurcz i rozszerzalność pod wpływem temperatury	315
Literatura do rozdziału 3	321
4. Trwałość	330
4.1. Korozja muru	330
4.2. Klasyfikacja warunków środowiskowych	334
4.3. Trwałość muru	340
4.3.1. Elementy murowe	340
4.3.2. Zaprawa	342
4.3.3. Stal zbrojeniowa	346
4.3.4. Stal oraz urządzenia do sprężania, wyroby dodatkowe i kątowniki podpierające	351
Literatura do rozdziału 4	354
5. Wymagania konstrukcyjne	355
5.1. Wymagania dotyczące muru	356
5.1.1. Materiały do wykonywania murów	356
5.1.2. Grubość i przekrój poprzeczny ścian	356
5.1.3. Przewiązanie muru	361
5.1.4. Spoiny w murze	375
5.1.5. Długość oparcia siły skupionej	377
5.2. Wymagania dotyczące zbrojenia	377
5.2.1. Wymagania konstrukcyjne dotyczące zbrojenia, ustalenia ogólne	377
5.2.2. Otulenie prętów zbrojenia	385
5.2.3. Minimalny przekrój zbrojenia, informacje ogólne	389
5.2.4. Średnice prętów zbrojeniowych	394
5.2.5. Zakotwienia zbrojenia rozciąganego i ściskanego	395
5.2.6. Długość zakładu zbrojenia rozciąganego i ściskanego	397
5.2.7. Zakotwienie zbrojenia na ścinanie	399
5.2.8. Skracanie zbrojenia rozciąganego	400
5.2.9. Zabezpieczenie zbrojenia ściskanego przed wyboczeniem	402
5.2.10. Rozstaw zbrojenia	402
5.3. Wymagania dotyczące sprężania	403
5.4. Mury skrępowane	403
5.4.1. Informacje ogólne	403
5.4.2. Ustalenia normowe	406
5.5. Połączenia ścian ze stropami i dachami	409
5.5.1. Informacje ogólne	409
5.5.2. Połączenia przez kotwy	409

5.5.3.	Połączenia przez tarcie	410
5.5.4.	Połączenia przez ściągi obwodowe i wieńce	410
5.6.	Połączenia między ścianami	414
5.6.1.	Miejsca skrzyżowania	414
5.6.2.	Ściany szczelinowe i licowe	415
5.6.3.	Ściany dwuwarstwowe	426
5.7.	Bruzdy i wnęki w ścianach	427
5.7.1.	Informacje ogólne	427
5.7.2.	Ustalenia normowe	432
5.8.	Izolacja przeciwwilgociowa	434
5.9.	Odkształcenia termiczne i długotrwałe	434
5.9.1.	Informacje ogólne	434
5.9.2.	Ustalenia normowe	445
	Literatura do rozdziału 5	454
6.	Wykonawstwo konstrukcji murowych	460
6.1.	Założenia EC6	460
6.2.	Transport, składowanie i przygotowanie materiałów	460
6.2.1.	Transport i składowanie materiałów	460
6.2.2.	Przygotowanie zaprawy i betonu wypełniającego na miejscu budowy	461
6.2.3.	Przygotowanie zapraw i mieszanek betonowych produkowanych fabrycznie	464
6.3.	Wykonywanie murów	465
6.3.1.	Przyczepność	465
6.3.2.	Układanie elementów murowych	466
6.3.3.	Spoinowanie podczas murowania i po wymurowaniu	471
6.3.4.	Stosowanie materiałów izolacyjnych	473
6.3.5.	Czyszczenie, konserwacja i zabezpieczenie muru	473
6.3.6.	Wznoszenie ścian w okresie zimowym	474
6.4.	Stateczność konstrukcji w czasie wznoszenia	481
6.5.	Obciążanie konstrukcji murowych	481
6.6.	Dopuszczalne odchyłki wykonawstwa	483
6.7.	Najczęstsze błędy wykonawstwa	487
6.7.1.	Niekorzystne odstępstwo od projektu	487
6.7.2.	Zła jakość robót	488
6.7.3.	Niewłaściwe przewiązanie elementów murowych	491
6.7.4.	Stosowanie w murze różnych materiałów	497
6.7.5.	Stosowanie różnych materiałów w całym obiekcie	498
6.7.6.	Stosowanie materiałów złej jakości	499
6.7.7.	Nieodpowiednie zabezpieczenie muru po wzniesieniu	500
6.7.8.	Nieodpowiednie wykonywanie bruzd i wnęk	503
6.7.8.	Nieodpowiednie łączenie ścian wypełniających z konstrukcją żelbetową	505
6.8.	Warunki techniczne odbioru konstrukcji murowych	506

6.8.1.	Sprawdzenie zgodności konstrukcji murowej z dokumentacją projektową	506
6.8.2.	Badania sprawdzające materiałów i wyrobów	506
6.8.3.	Badania sprawdzające konstrukcji	507
	Literatura do rozdziału 6	507
7.	Niebrojone ściany murowe obciążone głównie pionowo	510
7.1.	Definicja ścian obciążonych głównie pionowo	510
7.2.	Podstawy teoretyczne	511
7.2.1.	Schematy statyczne i modele obliczeniowe ścian ściskanych	511
7.2.2.	Strefa ściskana i strefa rozciągana w poprzecznym przekroju ściany	514
7.2.3.	Problem analitycznego opisu nośności muru	520
7.2.4.	Nośność muru według krajowych zaleceń normowych	523
7.2.5.	Wpływ smukłości ściany na nośność i współczynnik redukujący nośność ściany w przekroju środkowym	525
7.2.6.	Współczynnik redukujący nośność ściany w przekrojach górnym i dolnym	548
7.2.7.	Wartości mimośrodów	549
7.2.8.	Określanie momentów w przekrojach miarodajnych	552
7.2.9.	Podatność węzła ściana-strop	554
7.2.10.	Efektywna wysokość ściany h_{ef} i efektywna grubość ściany t_{ef}	558
7.2.11.	Wpływ obciążenia długotrwałego na nośność ścian	559
7.3.	Ustalenia przyjęte w normie EC6	560
7.3.1.	Schematy statyczne i modele obliczeniowe ścian ściskanych	560
7.3.2.	Warunki nośności muru	563
7.3.3.	Strefa ściskana i rozciągana w poprzecznym przekroju ściany	564
7.3.4.	Wpływ smukłości i współczynniki redukcyjne	565
7.3.5.	Wartości mimośrodów	568
7.3.6.	Określanie momentów w przekrojach miarodajnych	569
7.3.7.	Podatność węzła ściana-strop	575
7.3.8.	Efektywna wysokość ściany h_{ef} i efektywna grubość ściany t_{ef}	575
7.4.	Uwagi do sprawdzania nośności ścian obciążonych głównie pionowo	577
7.4.1.	Zestawienie obciążeń	577
7.4.2.	Kombinacje oddziaływań	580
7.4.3.	Momenty bezwładności stropów	587
7.4.4.	Nośność filarków międzyokiennych	595
7.5.	Algorytmy sprawdzania nośności ścian obciążonych głównie pionowo	601
7.5.1.	Metoda uproszczona wg PN-EN 1996-3:2010 wariant 1	601
7.5.2.	Metoda uproszczona wg PN-EN 1996-3:2010 wariant 2	603
7.5.3.	Metoda uproszczona podstawowa wg PN-EN 1996-1-1:2010	606
7.5.4.	Metoda podstawowa wg PN-EN 1996-1-1:2010	612
7.6.	Przykłady obliczeń ścian obciążonych głównie pionowo	615
7.6.1.	Opis analizowanego budynku	615
	Literatura do rozdziału 7	643

8. Ściany obciążone siłą skupioną	648
8.1. Definicja ścian obciążonych siłą skupioną	648
8.2. Podstawy teoretyczne	649
8.2.1. Zachowanie się muru pod obciążeniem skupionym	649
8.2.2. Powierzchnia rozdziału obciążenia	659
8.2.3. Nośność ścian obciążonych siłą skupioną	664
8.3. Ustalenia przyjęte w normie EC6	673
8.3.1. Warunki stosowania metod obliczeniowych	673
8.3.2. Powierzchnia rozdziału obciążenia	674
8.3.3. Nośność ścian obciążonych siłą skupioną	675
8.3.4. Porównanie zaleceń dotyczących obliczania nośności ścian obciążonych siłą skupioną	677
8.4. Algorytmy projektowania ścian obciążonych siłą skupioną	680
8.4.1. Metoda uproszczona wg PN-EN 1996-3:2010	681
8.4.2. Metoda podstawowa wg PN-EN 1996-1-1:2010	682
8.5. Przykłady obliczeń ścian obciążonych siłą skupioną	684
8.5.1. Opis analizowanego budynku	684
Literatura do rozdziału 8	691

Wprowadzenie

W marcu 2010 roku zbiór norm polskich wzbogacony został o Eurokody, czyli europejskie normy dotyczące projektowania konstrukcji. Prace koncepcyjne nad opracowaniem Eurokodów podjęto już w 1975 roku, realizując tym samym postanowienia art. 95 Traktatu Rzymskiego (ustanawiającego Europejską Wspólnotę Gospodarczą – EWG), natomiast zaawansowane prace legislacyjne podjęto dopiero po roku 1989, po przyjęciu przez Radę Wspólnoty Dyrektywy 89/106/EEC w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich. Do tego czasu funkcjonowały w środowisku opublikowane w 1978 roku obszerne, międzynarodowe wytyczne dotyczące zapewnienia niezawodności konstrukcji metodą częściowych współczynników bezpieczeństwa oraz tak zwane prenormy europejskie. Przepisy te zostały autoryzowane przez wszystkie europejskie specjalistyczne organizacje naukowo-techniczne i stanowiły źródłowe opracowanie metody stanów granicznych (SG).

Przystępując w 2004 roku do Unii Europejskiej, Polska automatycznie zobowiązała się do wprowadzenia Eurokodów i norm związanych w projektowaniu i realizacji obiektów budowlanych.

Eurokody składają się z 10 pakietów tematycznych, dotyczących zasad zapewnienia niezawodności i projektowania poszczególnych rodzajów konstrukcji budowlanych. Czteroczęściowy szósty pakiet (EC6) obejmuje zagadnienia projektowania, wykonawstwa i utrzymania niezbrojonych, zbrojonych, sprężonych i skrzepowanych 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 nie są objęte jego zapisami i znajdują się w innych normach europejskich lub Dyrektywach Unii Europejskiej. W pakiecie EC6 omawiono również kwestie wykonawstwa, ale tylko w zakresie niezbędnym do ustalenia wymagań dotyczących jakości zastosowanych materiałów i wyrobów oraz jakości wykonania robót na budowie.

Niniejsza książka dotyczy projektowania konstrukcji murowych według Eurokodu 6 i pomyślana została jako dzieło trzytomowe o zakresie zagadnień szerszym niż ujęty w pakiecie EC6, opatrzone pomocnymi w projektowaniu programami

komputerowymi. W tomie 1 kompleksowo ujęto problemy podstaw projektowania konstrukcji murowych, omówiono aspekty dotyczące zagadnień materiałowych, opisano i skomentowano warunki konstrukcyjne przy wznoszeniu i projektowaniu murów, przedstawiono zalecenia dotyczące wykonawstwa, opisano częste błędy i scharakteryzowano zasady projektowania ścian obciążonych głównie pionowo. Podczas omawiania tych zagadnień nie ograniczano się tylko do przedstawiania zaleceń Eurokodu 6, lecz starano się wyjaśnić genezę ich powstania i opisać inne zalecenia związane z omawianą tematyką. W rozdziałach dotyczących projektowania ścian obciążonych głównie pionowo (rozdział 7 i 8) 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 umożliwia 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.

Tom drugi książki będzie dotyczył projektowania niezbrojonych konstrukcji murowych poddanych ściskaniu, zginaniu, a ponadto zostanie w nim omówiona problematyka złożonego stanu naprężenia w murach. W tomie tym będą opisane również zasady projektowania murów z uwagi na warunki pożarowe. Trzeci tom książki będzie dotyczył projektowania zbrojonych konstrukcji murowych, murów sprężonych, murów skrępowanych oraz stanu granicznego użytkowości.

Autorzy pragną bardzo serdecznie podziękować opiniodawcy książki prof. dr. hab. inż. Romualdowi Orłowiczowi oraz prof. dr. hab. inż. Włodzimierzowi Starosolskiemu i prof. dr. hab. inż. Adamowi Zyburze za ciągłą motywację do pracy. 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, bez których nie byłoby możliwe wydanie tej książki.

Oddając książkę w ręce Czytelnika 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: lukasz.drobiec@polsl.pl, radoslaw.jasinski@polsl.pl, adam.piekarczyk@polsl.pl.

Gliwice, grudzień 2012 r.

Łukasz Drobiec
Radosław Jasiński
Adam Piekarczyk