

Anna Rawska-Skotniczny

OBCIĄŻENIA BUDYNKÓW I KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH WEDŁUG EUROKODÓW

NOWE WYDANIE



CD-ROM



PWN

**OBCIĄŻENIA BUDYNKÓW
I KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH
WEDŁUG EUROKODÓW**



Anna Rawska-Skotniczny

**OBCIĄŻENIA BUDYNKÓW
I KONSTRUKCJI
BUDOWLANYCH
WEDŁUG
EUROKODÓW**

Wydanie drugie
poprawione
i uzupełnione

 PWN

Projekt okładki i stron tytułowych **Kuba Sowiński**

Ilustracja na okładce **Ninuscha/Dreamstime**

Recenzent **prof. dr hab. inż. Szymon Pałkowski**

Wydawca **Izabela Ewa Mika**

Redaktor **Anna Bogdanienko**

Produkcja **Mariola Grzywacka**

Łamanie **Grafini, Brwinów**

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 2013, 2014

ISBN 978-83-01-17689-1

Wydanie drugie, poprawione i uzupełnione

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: Pabianickie Zakłady Graficzne SA

Spis treści

Wstęp, czyli „pluralitas non est ponenda sine necessitate”	XI
Bibliografia do wstępu	XIII
Wykaz skrótów	XV
Wykaz oznaczeń	XVII
1. Podstawowe informacje o obciążeniach	1
1.1. Powtórka z matematyki i fizyki	1
1.2. Ogólna charakterystyka obciążeń	5
1.2.1. Klasyfikacja obciążeń działających na konstrukcje	7
1.2.2. Charakterystyka wybranych obciążeń	8
1.3. Ścieżki obciążeń	11
1.4. Przeliczanie obciążeń	13
1.5. Obciążenia dynamiczne	22
1.6. Niezawodność konstrukcji, kombinacje i współczynniki bezpieczeństwa	24
1.6.1. Rodzaje obciążeń i współczynniki bezpieczeństwa	26
1.6.2. Kombinacje obciążeń	29
1.6.3. Klasy niezawodności	33
1.7. Przykłady do rozdziału 1	34
Bibliografia do rozdziału 1	57
2. Metodologia definiowania obciążeń w inżynierskich programach komputerowych ..	58
Przykłady do rozdziału 2	64
3. Oddziaływania na konstrukcje według Eurokodu 1	67
Bibliografia do rozdziału 3	69
4. Obciążenia stałe według normy PN-EN 1991-1-1	70
4.1. Uwagi ogólne	70
4.2. Sytuacje obliczeniowe	72
4.3. Ciężar objętościowy materiałów budowlanych	73

4.4. Ciężar własny elementów konstrukcyjnych	75
4.5. Przykłady do rozdziału 4	76
Bibliografia do rozdziału 4	85
5. Obciążenia zmienne według normy PN-EN 1991-1-1	86
5.1. Uwagi ogólne	86
5.2. Obciążenia użytkowe w budynkach – podział na kategorie	88
5.2.1. Powierzchnie mieszkalne, socjalne, handlowe i administracyjne	88
5.2.2. Powierzchnie składowania i działalności przemysłowej	94
5.2.3. Obciążenia wózkami widłowymi	97
5.2.4. Obciążenia ściankami działowymi	98
5.2.5. Obciążenia poziome barier i ścian rozgraniczających	98
5.2.6. Obciążenia ruchem pojazdów	100
5.3. Redukcja obciążeń dla stropów i poddaszy, słupów i ścian	101
5.4. Obciążenia użytkowe w innych przepisach i normach	102
5.5. Przykłady do rozdziału 5	103
5.6. Uwagi	107
Bibliografia do rozdziału 5	107
6. Oddziaływania na konstrukcję w warunkach pożaru według normy PN-EN 1991-1-2	109
6.1. Uwagi ogólne	109
Bibliografia do rozdziału 6	113
7. Obciążenia śniegiem według normy PN-EN 1991-1-3	114
7.1. Uwagi ogólne	114
7.2. Sytuacje obliczeniowe	117
7.3. Obciążenie śniegiem gruntu	119
7.3.1. Wartości charakterystyczne obciążenia śniegiem	119
7.3.2. Wyjątkowe obciążenie śniegiem gruntu	122
7.4. Obciążenie śniegiem dachów	122
7.4.1. Współczynniki kształtu dachów jednopołaciowych	129
7.4.2. Współczynniki kształtu dachów dwupołaciowych	129
7.4.3. Współczynniki kształtu dachów wielopołaciowych	130
7.4.4. Współczynniki kształtu dachów walcowych	131
7.4.5. Współczynniki kształtu dachów bliskich i przylegających do wyższych budowli	132
7.5. Obciążenia miejscowe	135
7.5.1. Zasy śnieżne przy wystęпах i przeszkodach	135
7.5.2. Zasy śnieżne przy attykach	136
7.5.3. Studium przypadku – katastrofa dachu budynku handlowego w Gdańsku	137
7.5.4. Nawisy śnieżne na krawędzi dachu	138
7.5.5. Obciążenie śniegiem barierek przeciwsnieżnych i innych przeszkód	139
7.6. Ciężar objętościowy śniegu	140
7.7. Wyznaczenie obciążenia śniegiem w zależności od okresu powrotu	141

7.8. Przykłady do rozdziału 7	142
7.9. Uwagi	147
Bibliografia do rozdziału 7	148
8. Obciążenia wiatrem według normy PN-EN 1991-1-4	150
8.1. Uwagi ogólne	150
8.2. Sytuacje obliczeniowe	155
8.3. Modelowanie obciążenia wiatrem	155
8.4. Prędkość i ciśnienie wiatru	157
8.4.1. Bazowa prędkość wiatru i ciśnienie prędkości	157
8.4.2. Wpływ kategorii terenu	159
8.4.3. Turbulencje	163
8.4.4. Wartość szczytowa ciśnienia prędkości	164
8.5. Obciążenie wiatrem	167
8.5.1. Ciśnienie wiatru na powierzchnie	168
8.5.2. Współczynniki ciśnienia	168
8.5.3. Siły oddziaływania wiatru na całą konstrukcję	185
8.6. Wyznaczenie obciążeń wiatrem w zależności od okresu powrotu	196
8.7. Obciążenie wiatrem elementów oblodzonych	197
8.8. Przykłady do rozdziału 8	198
8.9. Uwagi	207
Dodatek do rozdziału 8	209
Bibliografia do rozdziału 8	213
9. Obciążenia termiczne według normy PN-EN 1991-1-5	215
9.1. Uwagi ogólne	215
9.2. Sytuacje obliczeniowe	220
9.3. Składowe oddziaływań	220
9.4. Zmiany temperatury w budynkach	221
9.5. Zmiany temperatury w obiektach przemysłowych	226
9.6. Obciążenia termiczne w zależności od okresu powrotu	228
9.7. Przykłady do rozdziału 9	230
9.8. Uwagi	235
Bibliografia do rozdziału 9	236
10. Obciążenia w czasie wykonywania konstrukcji według normy PN-EN 1991-1-6	238
10.1. Uwagi ogólne	238
10.2. Sytuacje obliczeniowe	241
10.3. Okresy powrotu oddziaływań wykonawczych	246
10.4. Klasyfikacja oddziaływań	250
10.5. Oddziaływania inne niż wykonawcze	255
10.5.1. Ciężar własny	255
10.5.2. Oddziaływania na skutek sprężania i odkształceń wstępnych	255
10.5.3. Efekty temperatury, skurczu i hydratacji	256
10.5.4. Obciążenie wiatrem	256
10.5.5. Obciążenia śniegiem i oblodzeniem	263

10.5.6. Obciążenia spowodowane wodą	263
10.5.7. Oddziaływania geotechniczne	264
10.6. Obciążenia wykonawcze	268
10.6.1. Charakterystyka ogólna	268
10.6.2. Obciążenia wykonawcze w czasie układania betonu	272
10.7. Obciążenia w czasie zmian, przebudowy i burzenia	274
10.8. Przykłady do rozdziału 10	276
10.9. Uwagi	288
Bibliografia do rozdziału 10	290
11. Obciążenia wyjątkowe według normy PN-EN 1991-1-7	293
11.1. Uwagi ogólne	293
11.2. Sytuacje obliczeniowe	300
11.2.1. Rozważane strategie	300
11.2.2. Strategie oparte na ograniczaniu zasięgu miejscowego	304
11.3. Stężenia poziome i pionowe	307
11.4. Uderzenia	313
11.4.1. Uderzenia spowodowane pojazdami	313
11.4.2. Uderzenia spowodowane podnośnikami widłowymi i helikopterami	318
11.4.3. Uderzenia spowodowane wykołajeniem pociągów oraz ruchem statków	319
11.5. Eksplozje wewnętrzne	320
11.5.1. Eksplozje pyłów	323
11.5.2. Eksplozje gazu ziemnego	325
11.5.3. Detonacje w tunelach	326
11.6. Ocena ryzyka	326
11.7. Przykłady do rozdziału 11	328
11.8. Uwagi	330
Bibliografia do rozdziału 11	331
12. Obciążenie oblodzeniem według normy PN-EN 1993-3-1	333
12.1. Uwagi ogólne	333
12.2. Stan prawny	335
12.3. Zasady określania obciążenia oblodzeniem	335
12.4. Obciążenie oblodzeniem w kombinacjach obciążeń	339
12.5. Przykłady do rozdziału 12	341
12.6. Uwagi	342
Bibliografia do rozdziału 12	342
13. Obciążenia w ujęciu historycznym	344
13.1. Uwagi ogólne	344
13.2. Ogólna charakterystyka historycznych norm obciążeniowych i ich zmiany w czasie	345
13.2.1. Okres przedwojenny	346
13.2.2. Okres po II wojnie światowej	348
13.2.3. Czasy współczesne	352

13.3. Bezpieczeństwo konstrukcji – kombinatoryka	352
13.4. Obciążenia stałe dawniej i dziś	358
13.4.1. Ściany i mury	366
13.4.2. Stropy	368
13.4.3. Dźwigary	368
13.4.4. Czasy współczesne	368
13.5. Obciążenia zmienne dawniej i dziś	370
13.5.1. Podział na kategorie użytkowania	370
13.5.2. Obciążenia ściankami działowymi	374
13.5.3. Redukcja obciążeń dla stropów, słupów i ścian	375
13.5.4. Trwałe oznaczanie obciążeń w budynkach i dokumentacji	376
13.5.5. Obciążenia pojazdami stropów i dojazdów	377
13.5.6. Czasy współczesne	378
13.6. Obciążenia śniegiem dawniej i dziś	378
13.6.1. Okres przedwojenny	378
13.6.2. Okres po II wojnie światowej	379
13.6.3. Czasy współczesne	382
13.7. Obciążenia wiatrem dawniej i dziś	383
13.7.1. Okres przedwojenny	383
13.7.2. Okres po II wojnie światowej	384
13.7.3. Czasy współczesne	392
13.8. Oddziaływania termiczne dawniej i dziś	393
13.8.1. Okres przedwojenny	393
13.8.2. Okres po II wojnie światowej	393
13.8.3. Czasy współczesne	400
13.9. Obciążenia w czasie wykonywania konstrukcji dawniej i dziś	400
13.9.1. Okres przedwojenny	400
13.9.2. Okres po II wojnie światowej	401
13.9.3. Czasy współczesne	403
13.10. Obciążenia wyjątkowe dawniej i dziś	403
13.10.1. Okres przedwojenny i po II wojnie światowej	403
13.10.2. Czasy współczesne	408
13.11. Obciążenie oblodzeniem dawniej i dziś	408
13.11.1. Okres przedwojenny i po II wojnie światowej	408
13.11.2. Czasy współczesne	409
13.12. Przykłady do rozdziału 13	410
13.13. Uwagi	413
Bibliografia do rozdziału 13	414
Podsumowanie	418

Wstęp, czyli „pluralitas non est ponenda sine necessitate”¹

Zestawianie obciążeń jest jednym z podstawowych, bardzo istotnych etapów poprzedzających wykonanie jakiegokolwiek analizy konstrukcji. Projektowanie można ogólnie podzielić na kilka etapów. Kształtowanie polega na określeniu kształtu i wymiarów konstrukcji oraz doborze materiałów, z którego konstrukcja ma być wykonana. W tym etapie konieczna jest ścisła współpraca między projektantami wszystkich branży, począwszy od architekta przygotowującego projekt budowlany oparty na koncepcji architektonicznej aż po instalatorów, którzy ustalają swoje uwarunkowania przebiegu instalacji w obiekcie. Ukształtowaną konstrukcję przedstawia się za pomocą schematów statycznych ustalonych tak, aby jak najdokładniej odzwierciedlały rzeczywistą pracę elementów konstrukcyjnych i ustrojów. Następnie określa się wartości i sposoby działania obciążeń na poszczególne elementy konstrukcji oraz ich kombinacje, i na ich podstawie wyznacza się efekty oddziaływań (siły wewnętrzne). Określa się również przemieszczenia i odkształcenia konstrukcji. Następnie sprawdza się, czy efekty oddziaływań nie są większe od nośności przekrojów, a przemieszczenia nie przekraczają wartości dopuszczalnych. W niektórych konstrukcjach sprawdza się również inne warunki, określone w odpowiednich normach i przepisach. Jeśli warunki wymiarowania nie są spełnione, to koryguje się założenia i powtarza obliczenia. Na koniec wykonuje się opis techniczny i rysunki ustrojów oraz ich elementów konstrukcyjnych oraz zestawienia materiałów.

Nasuwa się pytanie, jak wykonać etap zestawiania obciążeń tak, aby nie popełnić błędów, które mogą być tragiczne w skutkach. Aż się prosi, by zastosować tu jedną z podstaw metodologii nauki, pochodzącą jeszcze ze średniowiecza zasadę brzytwy Ockhama, nazywaną też zasadą ekonomii myślenia [2]. Zgodnie z nią najprostsze rozwiązania uważane są za najlepsze, i nie należy szukać skomplikowanego rozwiązania tam, gdzie dostępne jest proste. Współcześnie zasada ta jest znana w informatyce od lat 80. XX w. jako reguła KISS (ang. *Keep It Simple, Stupid!*, czyli *nie komplikuj, głupcze!*) [3]. Reguła ta jest próbą powrotu do prostoty, a jej istotą jest dążenie do

¹ (łac.) Bytów nie mnożyć bez potrzeby, tłumaczyć fakty jak najprościej.

utrzymania zrozumiałej i przejrzystej struktury, bez dodawania niepotrzebnych elementów. Reguły te są bardzo pożądane przy wykonywaniu zestawień obciążeń, bo nie tylko trudniej się wtedy pomylić, ale i łatwiej sprawdzić obliczenia.

Od kilku lat normy nie są obowiązkowe do stosowania zgodnie z ustawą o normalizacji. Według wymagań technicznych warunki bezpieczeństwa konstrukcji uznaje się za spełnione, jeżeli konstrukcja ta odpowiada Polskim Normom dotyczącym projektowania i obliczania konstrukcji – co oznacza, że oparcie się na ich zasadach pozwala projektantowi udowodnić, iż prawidłowo zaprojektował obiekt budowlany. Od kilku lat mamy w kraju sytuację dualizmu normowego, dostępne są nadal normy „stare” PN-B, które jednak zostały wycofane z oficjalnego spisu norm. Zastąpiono je nowymi normami europejskimi PN-EN, co ma podnieść poziom bezpieczeństwa i nowoczesności budynków na zbliżony do europejskiego. Jest oczywiste, że obu zestawów norm nie wolno ze sobą krzyżować, wolno natomiast wykorzystać ich zawartość, o ile nie zaprzecza ona postanowieniom zestawu przywołanego przez konstruktora w projekcie. Postanowienia tych norm, które nie zostały przywołane, stają się literaturą i mogą być wykorzystywane na tej samej zasadzie co książki, artykuły i inne opracowania. Zatem normy można zaliczyć do zbioru opracowań, które tworzą zasób wiedzy technicznej, opartej na najnowszej wiedzy. Z tej przyczyny w książce omówiono podstawowe postanowienia nowych norm obciążeniowych Eurokod 1-1, dotyczących konstrukcji w inżynierii lądowej, zestawionych w tablicy 1. Autorce przypadło interesujące zadanie omówienia w rozdziale 11 Eurokodu „katastrofального” PN-EN 1991-1-7 [N1], dlatego pojawia się tam wiele przykładów katastrof budowlanych. W celu zachowania tej konwencji w całości opracowania przytoczono przykłady różnych katastrof, których jedną z przyczyn było nieprawidłowe ustalenie obciążeń, nie tylko wyjątkowych.

Książka nie podaje zasad dotyczących mostów i wiaduktów, ponieważ zdaniem autorki jest to bardzo obszerny temat wymagający osobnego opracowania. Pominięte zostały również zasady dotyczące zestawiania obciążeń dźwignicami, które są omówione w książce J. Żmudy *Konstrukcje wsporcze dźwignic* [6], oraz obciążenia silosów i zbiorników, omówione częściowo w książce A. Halickiej i D. Franczak *Projektowanie zbiorników żelbetowych. Tom 1. Zbiorniki na materiały sypkie* [1]. Wskazano także na kilku przykładach, gdzie można szukać informacji dodatkowych, zawartych w innych europejskich normach i krajowych przepisach prawnych.

Autorka składa serdeczne podziękowania panu dr. inż. Andrzejowi Marynowiczowi za konsultacje z zakresu fizyki budowli oraz wszystkim osobom, instytucjom i firmom, które udostępniły fotografie ze zgodą na publikację. Specjalne podziękowania należą się tym, którzy swoimi uwagami i konstruktywną krytyką naprowadzali autorkę na idee, które jej samej nie przyszłyby do głowy.

Szczególnie serdeczne podziękowania należą się panu profesorowi Włodzimierzowi Starosolskiemu, który w dużej mierze przyczynił się do powstania tej książki, udostępniając niezwykle cenne archiwalne normy i materiały oraz zapraszając autor-

kę jako wykładowcę na XXVII Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji w 2012 r. Niniejsza książka jest częściowo oparta na wykładzie, który wtedy powstał [4].

Wydanie II zostało rozszerzone m.in. o nowy rozdział 13, napisany na podstawie wykładu przygotowanego na XXIX Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji w 2014 r., przy współpracy z panem inżynierem Aleksandrem Piontkiem [5]. Chronologicznie rozdział ten powinien poprzedzać wywody dotyczące norm europejskich, zawiera bowiem informacje dotyczące polskich norm z lat 1923–2010, a więc sprzed wprowadzenia Eurokodów. Jednak wtedy cały układ książki, łącznie w numeracją rozdziałów, rysunków i wzorów uległby zmianie. Z tego powodu, a także ze względu na to, że do rozdziału tego sięgną raczej tylko ci projektanci, którzy będą wykonywać oceny stanu technicznego istniejących konstrukcji wybudowanych przed 2010 r., autorka zdecydowała o zamieszczeniu tej części na końcu książki.

W II wydaniu zostały poprawione dostrzeżone błędy i chochliki drukarskie, za znalezienie których autorka serdecznie dziękuje wszystkim swoim czytelnikom. Pojawiły się też nowe przykłady, o które prosili współpracownicy i studenci.

Informacje w książce zostały zebrane na podstawie norm, materiałów informacyjnych i firmowych, artykułów i książek zagranicznych i krajowych oraz stron internetowych. Część doświadczeń pochodzi z działalności projektowej i ekspertyzowej oraz różnych dyskusji i spotkań. Zdając sobie sprawę z możliwości pominięcia istotnych zagadnień i przykładów czy pojawienia się w książce błędów, braków i nieścisłości, autorka zwraca się do Czytelników z uprzejmą prośbą o podzielenie się wszystkimi krytycznymi uwagami na adres anea.rawska@gmail.com.

Bibliografia do wstępu

Monografie, podręczniki

- [1] Halicka A., Franczak D.: *Projektowanie zbiorników żelbetowych*. Tom 1. *Zbiorniki na materiały sypkie*. WN PWN, Warszawa 2011.
- [2] Heinzmann R.: *Filozofia średniowiecza*. Wyd. Antyk, Warszawa 2009.
- [3] Płoski Z.: *Słownik Encyklopedyczny – Informatyka*. Wyd. Europa, Wrocław 1999.
- [4] Rawska-Skotniczny A.: Zestawianie obciążeń stałych, zmiennych, termicznych, oblodzeniem, wykonawczych i wyjątkowych na konstrukcje stalowe. XXVII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2012.
- [5] Rawska-Skotniczny A., Piontek A.: Obciążenia w ujęciu historycznym (manuskrypt). XXIX Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2014.
- [6] Żmuda J.: *Konstrukcje wsporcze dźwignic*, WN PWN, Warszawa 2013.

Normy

- [N1] PN-EN 1991-1-7 Eurokod 1: *Oddziaływania na konstrukcje*. Część 1-7: *Oddziaływania wyjątkowe*.

Wykaz skrótów

- ALARA – As Low As Reasonably Achievable (możliwie jak najniższe, niezbędne do uzyskania zamierzonego efektu)
- ASCE – American Society of Civil Engineers (Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów)
- CAD – Computer Aided Design (projektowanie wspomagane komputerowo)
- DTR – dokumentacja techniczno-ruchowa
- EQU – stan graniczny nośności, polegający na sprawdzeniu możliwości utraty równowagi statycznej konstrukcji lub jakiegokolwiek jej części, uważanej za ciało sztywne
- FAT – stan graniczny nośności polegający na sprawdzeniu możliwości zniszczenia zmęczeniowego konstrukcji lub elementu konstrukcji
- GEO – stan graniczny nośności polegający na sprawdzeniu możliwości zniszczenia lub nadmiernego odkształcenia podłoża, kiedy istotne znaczenie dla nośności konstrukcji ma wytrzymałość podłoża lub skały
- HYD – stan graniczny dotyczący zniszczenia hydraulicznego
- IMiGW – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
- NASA – Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej
- NG – metoda naprężeń granicznych
- NL – metoda naprężeń liniowych
- OP – metoda odkształceń plastycznych
- RWPG – Rada Wzajemnej Pomocy Gospodarczej
- SG – metoda stanów granicznych
- SLS – stan graniczny użyteczności (dawniej SGU)
- STR – stan graniczny nośności, polegający na sprawdzeniu możliwości zniszczenia wewnętrznego lub nadmiernego odkształcenia konstrukcji lub elementów konstrukcji, łącznie ze stopami fundamentowymi, palami, ścianami części podziemnej itp., w przypadku których decydujące znaczenie ma wytrzymałość materiałów konstrukcji
- ULS – stan graniczny nośności (dawniej SGN)
- UPL – stan graniczny polegający na utracie równowagi spowodowanej ciśnieniem wody
- ZK – Załącznik krajowy do normy Eurokod (ang. NA – *national annex*)