

Jan Żmuda

PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI STALOWYCH

cz.1 Dźwigary kratownicowe,
słupy, ramownice



PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI STALOWYCH

Jan Żmuda

PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI STALOWYCH

**cz.1 Dźwigary kratownicowe,
słupy, ramownice**



[Kup książkę](#)

Projekt okładki i stron tytułowych: **Aleksandra Regulska**

Ilustracja na okładce: **gyn9037/Shutterstock**

Rysunki: **Wiesław Kotyla**

Wydawca: **Karol Zawadzki**

Redaktor: **Agnieszka Grabarczyk**

Produkcja: **Mariola Grzywacka**

Łamanie: **Grafini, Brwinów**

**Wydanie publikacji dofinansowane przez Opolską Okręgową Izbę
Inżynierów Budownictwa**

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 2016

ISBN

978-83-01-18482-7 t. I

978-83-01-18483-4 t. I i t. II

Wydanie I

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
ul. ul. G. Daimlera 2, 02-460 Warszawa
tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288
e-mail: pwn@pwn.com.pl; www.pwn.pl

Druk i oprawa: OSDW Azymut Sp. z o.o.

Kup książkę

Spis treści

Przedmowa	XI
Podstawowe oznaczenia	XIII
1. Stal, produkcja, właściwości, wyroby	1
1.1. Zarys produkcji stali	1
1.1.1. Stal a żelazo	1
1.1.2. Produkcja stali i żeliwa	1
1.1.3. Stal – produkt finalny	2
1.2. Właściwości stali konstrukcyjnych	2
1.2.1. Wartości obliczeniowe stałych materiałowych	2
1.2.2. Właściwości mechaniczne	2
1.2.2.1. Wytrzymałość stali	3
1.2.2.2. Ciągliwość stali	4
1.2.2.3. Udarność stali – odporność na kruche pękanie	4
1.2.2.4. Odporność na pękanie rozwarstwiający	5
1.2.3. Spawalność stali	5
1.3. Symbole i ich układy charakteryzujące gatunki stali oraz ich właściwości mechaniczne, technologiczne i użytkowe	6
1.4. Cechy mechaniczne, skład chemiczny stali	8
1.5. Stalowe wyroby hutnicze	8
1.6. Właściwości mechaniczne stali w różnych temperaturach	10
1.6.1. Temperatury klimatyczne	10
1.6.2. Temperatury pożarowe	11
1.6.3. Zabezpieczenia zwiększające odporność ogniową elementów stalowych	12
1.7. Korozja stali	13
1.7.1. Rodzaje korozji	13
1.7.2. Ochrona przed korozją	15
1.7.3. Powłoki antykorozyjne	16
1.8. Charakterystyka łączników	17
1.9. Spoiny, technologie spawania	17
1.9.1. Pojęcie spoin	17

1.9.2. Spawanie elektryczne	18
1.9.3. Spawanie gazowe	19
1.9.4. Rodzaje złącz spawanych i spoin	20
1.9.5. Spoiny czołowe, nazwy, wymiary	20
1.9.6. Spoiny pachwinowe, kształty, wymiary	24
1.9.7. Spoiny otworowe	28
1.9.8. Spoiny szerokobruzdowe	28
1.9.9. Oznaczenia spoin na rysunkach konstrukcyjnych	29
1.10. Śruby	32
1.10.1. Rodzaje i klasy śrub	32
1.10.2. Cechy śrub	33
1.10.3. Oznaczenia śrub na rysunkach konstrukcyjnych	36
1.11. Elementy wysyłkowe	37
2. Podstawy projektowania	39
2.1. Wymagania niezawodności, jakość i kontrola według PN-EN-1990	39
2.1.1. Wymagania niezawodności – stany graniczne	39
2.1.2. Poziomy niezawodności	41
2.2. Założenia projektowania i wymiarowania	41
2.3. Obciążenia, współczynniki, kombinacje obciążeń	42
2.3.1. Klasyfikacja obciążeń	42
2.3.2. Obciążenia stałe i użytkowe	42
2.3.3. Obciążenia klimatyczne	43
2.3.4. Obciążenia wyjątkowe	43
2.3.5. Kombinacje oddziaływań w stanach granicznych nośności (STR) i użytkowalności	44
2.4. Klasyfikacja przekrojów poprzecznych	47
2.5. Efekt szerokiego pasa	51
3. Elementy rozciągane	53
3.1. Rodzaje i zastosowania	53
3.2. Elementy sztywne	53
3.2.1. Przekroje poprzeczne	53
3.2.2. Nośność elementów rozciąganych	54
3.3. Podatne elementy rozciągane (ciągnia i liny)	60
3.3.1. Zastosowanie oraz rodzaje ciągnięć i lin	60
3.3.2. Nośność ciągnięć i lin	62
3.3.3. Zakotwienie ciągnięć	63
3.4. Elementy rozciągane dźwigarów kratownicowych	64
3.4.1. Zasady doboru kształtów	64
3.4.2. Warunki nośności	64
4. Elementy ściskane, wyboczenie	66
4.1. Uwagi ogólne	66
4.2. Istota wyboczenia elementu ściskanego	66

4.3. Teoria wyboczenia	67
4.4. Długości wyboczeniowe wyizolowanych idealnych prętów	69
4.5. Nośność elementów osiowo ściskanych	70
4.5.1. Warunki nośności	70
4.5.2. Krzywe wyboczenia giętnego	71
4.6. Przekroje efektywne ścianek klasy 4 ściskanych elementów	73
4.6.1. Zjawisko miejscowej utraty stateczności	73
4.6.2. Pola efektywne	75
4.7. Projektowanie ściskanych prętów dźwigarów kratownicowych	80
4.7.1. Rodzaje przekrojów prętów	80
4.7.2. Dobór przekrojów prętów ściskanych kratownicy	82
4.7.3. Długości wyboczeniowe prętów kratownic	82
4.7.4. Ściskane pręty proste	86
4.7.5. Pręty złożone bliskogałęziowe	86
4.8. Elementy ściskane złożone z przewiązkami lub skratowane	91
4.8.1. Kształtowanie cech geometrycznych	91
4.8.2. Elementy ściskane z przewiązkami	93
4.8.3. Elementy ściskane ze skratowaniem	94
4.8.4. Siły wewnętrzne w pasach złożonego elementu ściskanego z uwzględnieniem imperfekcji i teorii II rzędu	94
4.8.5. Nośność ściskanych prętów złożonych	98
4.9. Pręty o przekrojach otwartych monosymetrycznych	100
5. Połączenia elementów rozciąganych i ściskanych	108
5.1. Złącza ze spoinami czołowymi	108
5.2. Złącza zakładkowe ze spoinami pachwinowymi	109
5.2.1. Założenia do obliczeń, wytrzymałość spoiny na ścinanie	109
5.2.2. Nośność połączeń zakładkowych elementów rozciąganych lub ści- skanych	110
5.3. Złącza teowe, krzyżowe ze spoinami pachwinowymi	122
5.4. Połączenia śrubowe zakładkowe	124
5.4.1. Rodzaje i kategorie połączeń	124
5.4.2. Nośność obliczeniowa śrub i nitów na ścinanie i docisk	128
5.4.3. Nośność obliczeniowa śrub sprężanych w ciernych połączeniach za- kładkowych	131
5.4.4. Projektowanie połączeń zakładkowych	133
5.4.5. Połączenia zakładkowe z nierównomiernie obciążonymi łączni- kami	148
6. Dźwigary kratownicowe	152
6.1. Rodzaje i kształty	152
6.2. Dobór kształtu i ogólnych wymiarów kratownicy	158
6.3. Założenia, obciążenia, siły wewnętrzne	160
6.4. Ugięcia dźwigarów kratownicowych	161
6.5. Projektowanie węzłów i blach węzłowych	163

6.5.1. Zasady kształtowania	163
6.5.2. Zalecenia do obliczania węzłów	165
6.6. Kratownice z kształtowników rurowych	176
6.6.1. Uwagi ogólne	176
6.6.2. Warunki projektowania kratownic z rur	177
6.6.3. Modele obliczeniowe kształtowników rurowych	179
6.6.4. Nośności obliczeniowe prętów kratownic z rur	180
6.6.5. Nośność spoin i węzłów	182
6.7. Stężenia kratownicowe wiązarów dachowych	188
6.7.1. Rodzaje stężeń kratownicowych	188
6.7.2. Stężenie pościowe poprzeczne	190
6.7.3. Stężenie pościowe podłużne	197
6.7.4. Stężenia pionowe podłużne wiązarów dachowych	199
7. Słupy stalowe	201
7.1. Konstrukcja, zastosowanie, schematy statyczne	201
7.2. Przekroje poprzeczne trzonów słupów	204
7.3. Długości wybozeniowe słupów	207
7.3.1. Długości wybozeniowe słupów w płaszczyźnie ramy lub ramownicy	207
7.3.2. Długości wybozeniowe słupów w kierunku prostopadłym do płaszczyzny układu słupowo-ryglowego (ramownicy)	212
7.4. Słupy o przekrojach bisymetrycznych	212
7.4.1. Zasady obliczania	212
7.5. Słupy o przekrojach pełnościennych obciążonych siłami osiowymi i momentami zginającymi	219
7.6. Słupy złożone, wielogłęziowe	227
7.7. Podpory kratownicowe – wahacze	233
7.8. Głowice słupów	238
7.8.1. Zasady konstruowania głowic	238
7.8.2. Głowica słupa z płaską blachą poziomą – bez płytki centrującej	238
7.8.3. Głowica z płaską płytką centrującą	240
7.8.4. Głowica ze styczną płytką centrującą	240
7.8.5. Cechy geometryczne i wymiarowanie elementów konstrukcyjnych głowic słupów	242
7.9. Styki słupów	247
7.9.1. Zasady konstruowania	247
7.10. Stopy stalowe słupów	253
7.10.1. Konstrukcje stóp	253
7.10.2. Wytrzymałość obliczeniowa na docisk miejscowy betonu	256
7.10.3. Ogólne zasady obliczenia nośności elementów konstrukcyjnych stóp stalowych słupów	257
7.10.4. Stopa przegubowa słupa obciążonego siłą osiową, bez żeber usztywniających	259

7.10.5. Stopa sztywna słupa bez żeber usztywniających	260
7.10.6. Stopa sztywna uźebrowana obciążona osiową siłą ściskającą i momentem zginającym	267
7.10.7. Sztywność obrotowa początkowa stopy	286
7.10.8. Zakotwienia śrub fundamentowych	288
8. Poprzeczne układy nośne słupowo-ryglowe	291
8.1. Zastosowanie	291
8.2. Stężenia słupów poprzecznych układów nośnych	291
8.2.1. Stężenia międzysłupowe pionowe	292
8.2.2. Stężenia hal lekkich	292
8.2.3. Stężenia podłużne hal przemysłowych	294
8.2.4. Stężenia poziome i pionowe ścian szczytowych	295
8.3. Geometryczne imperfekcje globalne i lokalne	297
8.3.1. Imperfekcje globalne	298
8.3.2. Imperfekcje lokalne	300
8.4. Analiza statyczna I i II rzędu	301
8.5. Ocena wrażliwości na efekty II rzędu słupów i układów słupowo-ryglowych	304
8.6. Przybliżone metody obliczania sił wewnętrznych w poprzecznych układach słupowo-ryglowych	308
8.6.1. Ogólne zasady	308
8.6.2. Określenie przybliżonych wartości podporowych metodą portalową (ognisk)	308
8.6.3. Wyznaczanie przybliżonych wartości sił podporowych i przekrojowych metodą zastępczych schematów statycznych	310
8.6.4. Wielkości podporowe układów poprzecznych o przegubowym połączeniu rygla ze słupami	317
Literatura	324
Książki i artykuły	324
Normy	325

Przedmowa

Niniejsza książka *Projektowanie konstrukcji stalowych* jest znowelizowaną wersją dwóch poprzednich wydań publikacji *Podstawy projektowania konstrukcji metalowych*. Zawiera ona dużo zmian, w stosunku do poprzednich wydań związanych przede wszystkim z wprowadzeniem nowych norm Eurokodu 3, w tym norm projektowania konstrukcji stalowych PN-EN 1993-1, oraz uwzględnieniem nowych osiągnięć inżynierskich i badawczo-wdrożeniowych.

Zakres opracowania jest dostosowany do programu przedmiotów „Konstrukcje metalowe 1 i 2” wykładanych na dwu kolejnych semestrach studiów I stopnia na kierunku budownictwo. Stąd też treść opracowania podzielono na dwie części (t. 1 i 2). Pierwsza umożliwi studentom pierwszego semestru zaprojektowanie układu poprzecznego słupowo-ryglowego hali lekkiej z ryglami kratownicowymi i ze słupami pełnościennymi bądź złożonymi, druga zaś będzie podstawą do zaprojektowania w drugim semestrze budynku ze stalowymi ramami pełnościennymi i ze stropem z rusztem stalowym podpieranym przez słupy o przekrojach złożonych.

W proponowanym wydaniu podjęto próbę syntetycznego ujęcia bardzo obszer-nych i rozproszonych postanowień Eurokodów, zwłaszcza Eurokodu 3 i ich zastosowania do wymiarowania i projektowania podstawowych stalowych elementów konstrukcyjnych (prętów ściskanych, rozciąganych, słupów, belek, węzłów) i ustrojów konstrukcyjnych (dźwigarów kratownicowych, układów poprzecznych słupowo-ryglowych, ram).

W przypadku projektowania wielu rozwiązań konstrukcyjnych (np. dźwigarów pełnościennych ze ściankami klasy 4, ram obliczanych według teorii II rzędu) student lub projektant będzie zachęcany do korzystania ze wspomagania komputerowego, jeśli w pełni będzie wdrażać postanowienia pakietu norm Eurokod. Jednak do weryfikacji poprawności wyników obliczeń komputerowych niezbędna będzie podstawowa znajomość postanowień Eurokodów, a także wiedza z zakresu wytrzymałości materiałów i mechaniki budowli.

Opracowanie ma być rodzajem przewodnika w procesie projektowania podstawowych elementów konstrukcyjnych i bardziej złożonych zespołów nośnych stalo-

wych szkieletów konstrukcyjnych, ułatwiającym projektantom i ewentualnie wykonawcom konstrukcji prawidłową interpretację, zastosowanie i praktyczne zrozumienie zasad konstrukcyjnych przyjętych w postanowieniach Eurokodów.

Podstawy teoretyczne wyjaśniające zasady projektowania, w tym wymiarowanie i konstruowanie prostych lub bardziej złożonych stalowych elementów i ustrojów konstrukcyjnych, poparto licznymi przykładami obliczeniowymi ze szkicami ich rozwiązań konstrukcyjnych.

Książka jest przeznaczona zarówno dla studentów wydziałów budownictwa (lądowego, wodnego, dróg i mostów, kolejowego) i wydziałów pokrewnych (mechanicznych, rolniczych) wyższych uczelni technicznych, jak i dla projektantów konstrukcji stalowych.

Projektanci konstrukcji budowlanych – dotychczas opracowujący projekty na podstawie „starych” norm, w tym norm PN-B/90-03260 i innych pokrewnych – stają wobec konieczności praktycznego przyswojenia sobie nowych zasad projektowania w zakresie zarówno zestawienia obciążeń, weryfikacji niezawodności metodą stanów granicznych i współczynników częściowych, jak i wymiarowania elementów konstrukcyjnych.

Autor pragnie podziękować prof. dr. hab. inż. Antoniemu Biegusowi za opracowanie opinii o celowości wydania tej książki i pozytywną ocenę jej walorów zarówno dydaktycznych, jak i aplikacyjnych.

Bardzo dziękuję Pani mgr Elżbiecie Kuźniar za opracowanie komputerowego wydruku, a Panu mgr. Wiesławowi Kotyli za staranne wykonanie dużej liczby rysunków poglądowych schematycznych i konstrukcyjnych.