

Przedmowa do drugiego wydania

Pierwsze wydanie książki ukazało się w trakcie publikowania polskich tłumaczeń poszczególnych części Eurokodów. Po wycofaniu w 2010 r. przez PKN pakietu Polskich Norm PN-B, proces wdrażania Norm Europejskich uległ przyspieszeniu. Normy PN-EN stały się już podstawowym źródłem nauczania w średnich i wyższych szkołach technicznych. Stają się one również coraz częściej wymaganiami inwestorów przy projektowaniu i wykonywaniu konstrukcji stalowych. Znaczne rozszerzenie zakresu wiedzy oraz skomplikowanie wzorów i procedur projektowania w Eurokodach stwarza wiele trudności przy ich przyswajaniu. Sygnały napływające z całej Europy do CEN od użytkowników norm oraz z ośrodków naukowych spowodowały, że równoległe z wdrażaniem norm rozpoczęto proces ich weryfikacji i modyfikacji. Ma on na celu niezbędną korektę i uzupełnienie (rozszerzenie) treści norm oraz wprowadzenie możliwych do przyjęcia uproszczeń procedur obliczeniowych. Prace nad ciągłym uaktualnianiem Eurokodów prowadzone są w Evolution Groups działających w ramach CEN-u, oraz równoległe, w Komitetach Technicznych (TC) ECCS (Europejskiej Konwencji Konstrukcji Stalowych). Zatwierdzone zmiany do norm są w Polsce publikowane na stronie internetowej PKN-u (www.pkn.pl), skąd mogą być bezpłatnie pobierane.

Stosując aktualne wersje Eurokodów projektanci starają się korzystać z programów komputerowych, które oprócz wymiarowania elementów oferują również projektowanie połączeń. Taka droga postępowania nie jest w odniesieniu do projektowania połączeń konstrukcji stalowych drogą bezpieczną, jeśli korzysta się z niej bez znajomości zasad kształtowania i projektowania węzłów.

Mając to na uwadze Autorzy zdecydowali się na drugie wydanie książki, poprawione i uzupełnione na podstawie aktualnego stanu wiedzy. Uwzględniono wszystkie opublikowane oficjalnie przez PKN poprawki, a także wprowadzono korekty wynikające z zastępowania kolejnych polskich norm normami europejskimi.

Autorzy

Przedmowa do pierwszego wydania

Przystąpienie Polskiego Komitetu Normalizacyjnego do Comité Européen de Normalisation (CEN) w roku 2004, który wówczas przygotowywał ostatnie fazy opracowania Eurokodów, w tym EC0, EC1 oraz EC3, wiązało się z równoczesnym zobowiązaniem do przyjęcia tych norm jako norm polskich (PN-EN) [0.1 ÷ 0.3]. Prace w CEN (a także w PKN) nad poszczególnymi częściami tych norm przebiegały w różnym tempie. Dzisiaj jest już ich komplet. Dotychczasowe Polskie Normy będą wycofane do 31 marca 2010 roku. Ten termin oznacza, że będą obowiązywać normy europejskie (EN) jako normy polskie (PN – EN). Jest więc pożądane szczegółowe ich przedstawienie w podręcznikach i monografiach, mających jako cel nauczanie i wyjaśnienie, umieszczone w nich zaleceń, wskazanie prawidłowej interpretacji i podstaw doświadczalnych z równoczesnym przypomnieniem podstaw teoretycznych.

Minione lata transformacji ustrojowej i gospodarczej przyniosły w branży konstrukcji stalowych ogromne zmiany technologii wytwarzania. Z tymi zmianami wiążą się nowe podejścia do projektowania konstrukcji stalowych, ich elementów i połączeń. Są zarówno projektantom jak też wykonawcom dostępne doskonałe materiały i wyroby. Ekonomiczne aspekty technologii wytwarzania i montażu elementów, jak też zapewnienia ich bezpieczeństwa doprowadziły do nowego podejścia do projektowania i obliczania połączeń i węzłów.

Duży zasób nagromadzonej wiedzy, wyników badań eksperymentalnych i teoretycznych oraz informacji o zastosowaniach jest użytkownikom znany z opracowań cząstkowych i doniesień

technicznych, fragmentarycznie studentom ze skryptów i podręczników, dotyczących podstaw projektowania konstrukcji stalowych, a pracownikom naukowym z raportów (zwykle nieopublikowanych) i referatów wygłaszanych na konferencjach naukowo-technicznych.

Taki stan nagromadzonej wiedzy i dostępnych (ale rozsianych w różnego rodzaju publikacjach) informacji stawia dylemat, jakiego rodzaju publikację przygotować i jakim Czytelnikom jest ona potrzebna. Monografia naukowa w pełni satysfakcjonowałaby autorów, chociaż do jej publikacji byłoby trudno obecnie znaleźć wydawcę. Użytkownikami są przede wszystkim projektanci-praktycy zarówno Ci, którzy pragną poszerzyć swoją znajomość zagadnień i udoskonalić umiejętności, jak też Ci, którzy poszukują wyjaśnień do nurtujących ich akurat wątpliwości, czy też chętnie widzą wyjaśnienie procedur normowych lub dobrze przedstawionego przykładu obliczeń poszczególnych kwestii. Jest oczywiste, że monografia taka też powinna zainteresować studentów, zwłaszcza dyplomantów, jak też młodych pracowników naukowych i dydaktycznych, będąc dla nich pomocą w ich kształceniu jako poradnik i przewodnik bez konieczności przedzierania się przez całą literaturę zwykle w językach obcych. Autorzy podjęli zatem decyzję, że przygotują książkę, w której zaprezentują praktyczne sposoby projektowania i zapewnienia bezpieczeństwa połączeń i węzłów konstrukcji stalowych, biorąc jednak pod uwagę tło doświadczalne i teoretyczne. Przy jej opracowaniu dokonali selekcji dokonań międzynarodowych i polskich, aby przedstawić informacje najbardziej potrzebne krajowemu odbiorcy, jednak zachęcając go do bardziej dokładnego śledzenia tych wszystkich dokonań badawczych z minionych czterdziestu lat. Z tego względu występują w monografii zarówno przykłady obliczeń, jak też cytowania licznych piśmiennictwa, co daje możliwość korzystania użytkownikom i czytelnikom o różnych zainteresowaniach.

Podobnemu celowi służyły dawno już wyczerpane, lecz nadal bardzo pożyteczne książki, publikowane około 20 lat temu pod kierunkiem prof. Jana Augustyna w serii Wydawnictwa „Arkady” pt. „Ekonomiczne konstrukcje stalowe. Projektowanie i realizacja” [0.4]÷[0.6]. Od tego czasu, na co wskazano na początku tego rozdziału, wiedza, normy i technologia poszerzyły się lub uległy udoskonaleniu, jednak konieczność biegłości w zawodzie i kształcenia się nadal są aktualne i potrzebne tym wszystkim, którzy chcą osiągać sukcesy.

Rodzaj wiedzy i umiejętności z różnych dziedzin, które służą do prawidłowej oceny i realizacji budynków i budowli, nakazuje co pewien czas dokonywać rewizji podstaw zapewniających nauczanie i zdobywanie umiejętności w praktycznym działaniu. Rozwój jest ciągły, ale rewizja odbywa się skokowo przez zmianę norm i publikacje monografii. Jeszcze do połowy ubiegłego stulecia ta rewizja następowała co około 50 lat. Obecne czasy przyniosły przyspieszenie i ten okres skurczył się do 20 ÷ 30 lat.

Piśmiennictwo

[0.1] PN-EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji.

[0.2] PN-EN 1991 Oddziaływania na konstrukcje.

[0.3] PN-EN 1993 Projektowanie konstrukcji stalowych.

[0.4] Augustyn J., Łaguna J.: Racjonalne stosowanie stali. Arkady. Warszawa 1986.

[0.5] Łaguna J., Łypacewicz K.: Połączenia śrubowe i nitowe. Arkady. Warszawa 1986.

[0.6] Augustyn J.: Połączenia spawane i zgrzewane. Arkady. Warszawa 1987.

Pamiętając o naszym znakomitym poprzedniku Profesorze Janie Augustynie, wybitnym projektancie, dydaktyku i naukowcu, tę książkę poświęcają Mu Jego koledzy i uczniowie.

Autorzy

Spis treści

Przedmowa	7
Piśmiennictwo	8
1 Zagadnienia ogólne (Jan Bródka)	17
1.1 Materiały i wyroby	17
1.2 Systematyka połączeń i węzłów	35
1.3 Zasady projektowania	42
Piśmiennictwo	43
2 Połączenia spawane (Aleksander Kozłowski, Lucjan Ślęczka)	45
2.1 Wstęp	45
2.2 Charakterystyka procesu spawalniczego	47
2.2.1 Źródła ciepła spawania	47
2.2.2 Osłona jeziora spawalniczego	48
2.2.3 Wtopienie i udział metalu rodzimego w spoinie	49
2.2.4 Rozprzestrzenianie się ciepła w elemencie spawanym	50
2.2.5 Zróżnicowanie mechaniczne połączenia spawanego	51
2.2.6 Podstawowe parametry spawania	54
2.2.7 Spawalność stali	55
2.3 Rodzaje połączeń i spoin	61
2.3.1 Połączenia warsztatowe i montażowe	61
2.3.2 Klasyfikacja połączeń spawanych	61
2.4 Elementy złącza i spoiny	62
2.4.1 Rodzaje spoin	62
2.4.2 Oznaczenia spoin na rysunkach	67
2.5 Zagadnienia technologiczne spawania	70
2.5.1 Typowe procesy spawania	70
2.5.1.1 Spawanie łukowe ręczne elektrodą otuloną	71
2.5.1.2 Spawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonie gazowej (obojętnej lub aktywnej)	72
2.5.1.3 Spawanie łukiem krytym	73
2.5.1.4 Spawanie łukowe drutem elektrodowym proszkowym ...	74
2.5.1.5 Spawanie łukowe elektrodą wolframową	74
2.5.1.6 Spawanie elektrożuźłowe	75
2.5.1.7 Spawanie gazowe	76
2.5.1.8 Spawanie laserowe	76
2.5.1.9 Spawanie plazmowe	77
2.5.1.10 Łukowe przypawanie kołków	77

2.5.2	Plan spawania	78
2.5.3	Przygotowanie brzegów elementów do spawania	78
2.5.4	Pozycje spawania	79
2.5.5	Materiały dodatkowe do spawania	79
2.5.6	Technika spawania	82
2.5.7	Wstępne podgrzewanie i obróbka cieplna po spawaniu	85
2.5.8	Wadliwość połączeń spawanych	85
2.5.9	Naprężenia i odkształcenia spawalnicze	89
2.6	Zalecenia kształtowania spoin w złączach	93
2.6.1	Kształtowanie wytrzymałościowe połączeń	93
2.6.2	Kształtowanie technologiczne	99
2.6.3	Zagadnienia ekonomiczne	100
2.7	Nośność spoin i połączeń	102
2.7.1	Założenia i zasady obliczania spoin i połączeń	102
2.7.1.1	Nośność obliczeniowa spoin czołowych o pełnym przetopie	103
2.7.1.2	Nośność obliczeniowa spoin pachwinowych	104
2.7.1.3	Nośność obliczeniowa spoin czołowych o niepełnym przetopie	106
2.7.1.4	Nośność obliczeniowa spoin pachwinowych obwodowych	107
2.7.1.5	Nośność obliczeniowa spoin otworowych	107
2.7.2	Charakterystyki siła – wydłużenie spoin	107
2.7.3	Połączenia zakładkowe obciążone osiowo	109
2.7.3.1	Połączenia zakładkowe ze spoinami pachwinowymi podłużnymi	109
2.7.3.2	Połączenia zakładkowe ze spoinami pachwinowymi poprzecznymi	110
2.7.3.3	Połączenia zakładkowe ze spoinami pachwinowymi poprzecznymi i podłużnymi	112
2.7.4	Połączenia zakładkowe długie	113
2.7.5	Wymiarowanie złożonych połączeń ze spoinami pachwinowymi	114
2.7.6	Kształtowniki mocowane jednym ramieniem	121
2.7.7	Połączenia doczołowe do nieusztynionych pótek	123
2.7.8	Połączenia rur	124
2.7.9	Połączenia ze spoinami czołowymi i pachwinowymi	125
2.7.10	Połączenia hybrydowe (mieszane)	126
2.7.11	Inne metody określania nośności połączeń spawanych	126
2.8	Wpływ spawania na zachowanie się połączeń i elementów spawanych	129
2.8.1	Naprężenia spawalnicze	129
2.8.2	Przestrzenny stan naprężenia	131
2.8.3	Strefa wpływu ciepła	132
2.9	Wymagania stawiane jakości połączeń spawanych	132
2.9.1	Klasa wykonania konstrukcji	132

2.9.2	Wymagania odnośnie spawania konstrukcji	133
2.9.3	Kontrola jakości prac spawalniczych	134
2.9.4	Metody badań połączeń spawanych	135
2.10	Przykłady obliczeń połączeń spawanych	136
2.10.1	Połączenia ze spoinami czołowymi	136
2.10.2	Połączenia ze spoinami pachwinowymi	141
	Piśmiennictwo	157
3	Połączenia na łączniki mechaniczne (Jan Łaguna)	159
3.1	Wstęp	159
3.2	Podstawowy asortyment łączników	159
3.2.1	Informacje ogólne	159
3.2.2	Śruby, nakrętki i podkładki	161
3.2.3	Nity	167
3.2.4	Sworznie i zawlecзки	168
3.2.5	Śruby z iniekcją	169
3.2.6	Śruby i sworznie z trzpieniem zrywany	170
3.2.7	Nakrętki napinające	172
3.3	Właściwości łączników	173
3.3.1	Informacje ogólne	173
3.3.2	Właściwości śrub i nakrętek	173
3.3.3	Właściwości nitów	180
3.3.4	Właściwości sworzni	180
3.3.5	Właściwości sworzni dwustronnych	181
3.3.6	Właściwości śrub z iniekcją	181
3.3.7	Właściwości podkładek	181
3.3.8	Kontrola jakości i odbiór łączników	182
3.4	Osadzanie łączników	182
3.4.1	Wykonywanie otworów przejściowych	182
3.4.2	Osadzanie śrub w połączeniach niesprężanych i sworzni	183
3.4.3	Osadzanie śrub w połączeniach sprężanych	184
3.4.3.1	Metody dokręcania śrub	184
3.4.3.2	Metoda kontrolowanego momentu dokręcania	191
3.4.3.3	Zmodyfikowane metody sprężania według PN-EN 1993-1-8/ Ap2	192
3.4.3.4	Metoda kombinowana	194
3.4.3.5	Metoda bezpośrednich wskaźników napięcia	195
3.4.3.6	Metoda HRC	196
3.4.3.7	Metoda napinania siłownikami	196
3.4.4	Osadzanie śrub z iniekcją	196
3.4.5	Osadzanie nitów	196
3.4.6	Kontrola osadzania śrub	197
3.5	Rodzaje połączeń i kryteria oceny ich nośności	199
3.5.1	Informacje ogólne	199

3.5.2	Kategorie połączeń śrubowych	200
3.6	Nośność pojedynczych śrub i nitów w połączeniach	203
3.6.1	Nośność obliczeniowa śruby na ścinanie	203
3.6.2	Nośność obliczeniowa nitu na ścinanie	204
3.6.3	Nośność obliczeniowa śruby na rozerwanie trzpienia	204
3.6.4	Nośność obliczeniowa nitu na rozerwanie trzpienia	204
3.6.5	Nośność obliczeniowa trzpienia śruby na jednoczesne ścinanie i rozciąganie	204
3.6.6	Nośność na przeciągnięcie łba łącznika przez blachę	205
3.6.7	Obliczeniowa wartość siły sprężenia	205
3.6.8	Zestawienie nośności obliczeniowych śrub	205
3.7	Połączenia zakładkowe typu dociskowego kategorii A	206
3.7.1	Informacje ogólne i kryteria obliczeniowe	206
3.7.2	Rozkład sił i rozmieszczanie łączników w połączeniach	208
3.7.3	Nośność na docisk do ścianki otworu	213
3.7.4	Nośność przekroju osłabionego otworami	215
3.7.5	Nośność na rozerwanie blokowe	217
3.7.6	Wpływ mimośrodowość siły prostopadłego do płaszczyzny styku na nośność połączenia	218
3.7.7	Połączenia zaginane w płaszczyźnie styku	220
3.7.8	Połączenia nominalnie przegubowe belek	222
3.8	Połączenia na sworznie	230
3.8.1	Kryteria obliczeniowe sworzni	230
3.8.2	Wymiarowanie części łączonych sworzniami	231
3.8.3	Połączenia sworzniowe prętów stężeń	233
3.9	Połączenia śrubowe cierne	235
3.9.1	Charakterystyka połączeń i kryteria obliczeniowe	235
3.9.2	Charakterystyka powierzchni styku	237
3.9.3	Nośność obliczeniowa na poślizg	237
3.9.4	Nośność na jednoczesne ścinanie i rozciąganie	238
3.9.5	Nośność przekroju elementów łączonych	238
3.9.6	Nośność połączeń hybrydowych	239
3.10	Połączenia na śruby z iniekcją	239
3.10.1	Informacje ogólne	239
3.10.2	Nośność obliczeniowa	239
3.11	Połączenia doczołowe rozciągane kategorii D i E	240
3.11.1	Zasady kształtowania i kryteria obliczeniowe	240
3.11.2	Nośność doczołowych króćców rozciąganych	241
3.11.3	Rozkład sił wewnętrznych w połączeniach złożonych	252
3.11.4	Metoda obliczeń według PN-90/B-03200	258
3.11.5	Obliczanie połączeń metodą składnikową	259
3.11.6	Projektowanie połączeń sztywnych uproszczoną metodą składnikową	262
3.12	Połączenia kołnierzone ścianek powłok w stanie liniowo-sprężystym	264

3.12.1	Informacje ogólne	264
3.12.2	Styk teowy w stanie liniowo-sprężystym	266
3.12.3	Styk kątowy niesprężany	266
3.12.4	Styk kątowy sprężany	267
3.13	Przykłady obliczeń	271
	Piśmiennictwo	289
4	Połączenia elementów małej grubości (Jan Bródka, Jan Łaguna)	293
4.1	Informacje ogólne	293
4.2	Połączenia spawane	298
4.2.1	Zagadnienia ogólne	298
4.2.2	Połączenia ze spoinami czołowymi i pachwinowymi	300
4.2.3	Połączenia ze spoinami punktowymi	311
4.2.4	Połączenia ze spoinami otworowymi	313
4.3	Połączenia zgrzewane punktowo	315
4.4	Połączenia na łączniki mechaniczne	318
4.4.1	Zagadnienia ogólne	318
4.4.2	Połączenia na śruby	320
4.4.3	Połączenia na wkręty	327
4.4.4	Połączenia na gwoździe	331
4.4.5	Połączenia na nity jednostronne	338
4.4.6	Połączenia klejone	340
4.4.7	Połączenia specjalne	342
4.5	Badania doświadczalne łączników mechanicznych	342
4.6	Przykłady obliczeń	350
	Piśmiennictwo	366
5	Węzły podatne (Jan Bródka)	371
5.1	Wprowadzenie	371
5.2	Podstawy doświadczalne	375
5.2.1	Informacje ogólne	375
5.2.2	Węzły z jednostronną przykładką na średniku rygla	377
5.2.3	Węzły z dwustronnymi przykładkami na średniku rygla	379
5.2.4	Węzły z jednostronnymi nakładkami z kątowników na stopkach rygla	381
5.2.5	Węzły ze stolikiem i przykładką na średniku rygla	382
5.2.6	Węzły z czołową blachą głowicową	385
5.2.7	Węzły z czołowymi blachami wpuszczonymi	386
5.2.8	Węzły z nakładkami z odcinków teowych na stopkach rygla	387
5.2.9	Węzły z czołowymi blachami wystającymi	388
5.2.10	Węzły rygli ze słupami z zamkniętych kształtowników	390
5.2.11	Węzły o dużej nośności, spawane z dwuteowników amerykańskich	397
5.2.12	Inne zagadnienia wynikające z doświadczeń	398
5.3	Metody prognozowania charakterystyk $M-\phi$	401
5.4	Klasyfikacja węzłów	413

5.5	Zależność momentu-obrotu	420
5.5.1	Funkcje wielomianowe, opracowane przez Frye'a i Morrisa [5.136]	420
5.5.2	Funkcje potęgowe, opracowane przez Anga i Morrisa [5.145]	422
5.5.3	Funkcje dwuodcinkowe opracowane przez Kozłowskiego [5.18] ..	423
5.5.4	Szczegółowe dane prognozowania krzywych $M-\phi$	424
5.5.5	Przykłady obliczeń	433
5.6	Bezpieczeństwo węzłów	449
5.7	Zdolność do obrotu	455
5.8	Zachowanie się węzłów w konstrukcji	468
	Piśmiennictwo	479
6	Węzły z kształtowników zamkniętych (Jan Bródka, Ireneusz Ligocki)	489
6.1	Wprowadzenie	489
6.2	Kształtowanie węzłów spawanych	490
6.2.1	Węzły standardowe	490
6.2.1.1	Węzły kratownic	490
6.2.1.2	Węzły belek bezprzekątniowych i ram	495
6.2.2	Węzły o technologicznym rozwiązaniu	498
6.3	Kształtowanie połączeń śrubowych	504
6.3.1	Układy płaskie	504
6.3.2	Układy przestrzenne	513
6.4	Przygotowanie kształtowników do spawania	517
6.5	Łączniki mechaniczne	519
6.6	Nośność węzłów spawanych o standardowych kształtach według PN-EN 1993-1-8	521
6.6.1	Modele oceny nośności	521
6.6.2	Spawane węzły prętów z rur okrągłych	529
6.6.3	Spawane węzły między prętami o pasach z kształtowników prostokątnych i prętów skratowania z kształtowników okrągłych lub prostokątnych	536
6.6.3.1	Węzły bez wzmocnień	538
6.6.3.2	Węzły ze wzmocnieniami	546
6.6.4	Spawane węzły między pasami z dwuteowników a skratowaniami z kształtowników zamkniętych ..	549
6.6.5	Spawane węzły między pasami z ceowników a skratowaniami z kształtowników zamkniętych	553
6.7	Nośność spawanych węzłów specjalnych	555
6.8	Nośność spawanych węzłów standardowych według Wytocznych IIW ...	559
6.8.1	Modele oceny nośności	560
6.8.2	Spawane pręty węzłów z rur okrągłych	563
6.8.3	Spawane węzły między prętami o pasach z kształtowników prostokątnych i prętów skratowania z kształtowników prostokątnych lub okrągłych	568

6.8.4	Spawane węzły między pasami z dwuteowników a skratowaniami z kształowników zamkniętych	577
6.9	Nośność połączeń spawanych w węzłach	577
6.10	Nośność węzłów śrubowych	587
6.10.1	Styki rur rozciąganych na blachy czołowe	587
6.10.2	Styki zginane na blachy czołowe, łączone śrubami zakładanymi jednostronnie	593
6.11	Wytwarzanie elementów z kształowników zamkniętych	596
6.12	Przykłady obliczeń węzłów i styków	610
	Piśmiennictwo	642
7	Węzły kratownic (Jan Bródka)	649
7.1	Wprowadzenie	649
7.2	Węzły płaskich kratownic dachowych	656
7.3	Węzły przestrzennych kratownic dachowych	679
7.4	Węzły ram kratowych	694
7.5	Obliczanie węzłów	707
7.6	Przykłady obliczeń	723
	Piśmiennictwo	728
	Skorowidz ważniejszych pojęć	733