

8 Węzły ram (Aleksander Kozłowski, Ireneusz Ligocki, Jan Bródka)	11
8.1 Wprowadzenie	11
8.2 Węzły wielokondygnacyjnych ram stężonych	23
8.2.1 Węzły spawane	23
8.2.2 Węzły śrubowe	29
8.3 Węzły wielokondygnacyjnych ram niestężonych	40
8.3.1 Węzły spawane	41
8.3.2 Węzły śrubowe	45
8.4 Węzły ram parterowych	48
8.5 Styki słupów, styki i podparcia belek	51
8.5.1 Informacje wstępne	51
8.5.2 Styki słupów	53
8.5.3 Styki rygli i belek stropowych	59
8.5.4 Uprozczone metody projektowania doczołowych połączeń zginanych	62
8.5.4.1 Ocena rozkładu sił wewnętrznych w zginanych połączeniach doczołowych na podstawie wyników badań	63
8.5.4.2 Zasady projektowania sztywnych zginanych połączeń doczołowych	66
8.5.4.3 Obliczanie sztywnych połączeń zginanych przy zastosowaniu empirycznych współczynników rozdziału sił	67
8.5.4.4 Obliczanie sztywnych połączeń zginanych metodą składnikową	69
8.5.5 Podparcia belek	72
8.5.5.1 Oparcie na ścianie	72
8.5.5.2 Oparcie na słupie	86
8.5.5.3 Połączenie belki stropowej z podciągami	94
8.5.6 Przykłady obliczeń	107
8.6 Węzły specjalne	141
8.6.1 Węzły regałów magazynowych	141
8.6.2 Węzły konstrukcji cienkościennych	156
8.6.2.1 Elementy o średnicach ażurowych	156
8.6.2.2 Elementy o falistych średnicach	157
8.6.2.3 Elementy z kształtowników giętych	161
8.6.3 Węzły belek bezprzekątniowych	173
8.6.3.1 Informacje ogólne	173
8.6.3.2 Badania węzłów belek bezprzekątniowych	174
8.6.3.3 Obliczanie połączeń spawanych węzłów belek bezprzekątniowych	179
8.6.4 Węzły przestrzenne (i inne)	180
8.6.5 Połączenia elewacji szklanych (Zdzisław Pisarek)	186
8.6.5.1 Wprowadzenie	186
8.6.5.2 Właściwości materiałów stosowanych na fasady szklane	188
8.6.5.3 Odkształcenia przeszkleń	190
8.6.5.4 Układy łączników	191
8.6.5.5 Badania połączeń fasad szklanych	198
8.6.5.6 Przykłady realizacji	201
8.7 Normowa metoda obliczania nośności, sztywności i zdolności do obrotu węzłów	

stalowych	204
8.7.1 Wprowadzenie do metody składnikowej	204
8.7.2 Nośność węzłów	214
8.7.3 Sztywność obrotowa węzłów stalowych	227
8.7.4 Uprozczone obliczenia nośności i sztywności węzłów ram stalowych	230
8.7.5 Zdolność do obrotu węzłów stalowych	237
8.7.6 Uogólnienie metody na węzły o czterech śrubach w szeregu	241
8.7.7 Metody zwiększania nośności i sztywności węzłów	252
8.7.8 Przykłady obliczeń	256
Piśmiennictwo	291
9 Połączenia słupów z fundamentami (Ireneusz Ligocki, Jan Bródka)	295
9.1 Wprowadzenie	295
9.2 Charakterystyka stosowanych rozwiązań	296
9.2.1 Stopy słupów ściskanych osiowo	297
9.2.2 Stopy słupów ściskanych mimośrodowo	302
9.3 Projektowanie połączeń słupa z fundamentem	306
9.3.1 Projektowanie podstaw słupów	306
9.3.2 Zakotwienia śrubowe	320
9.3.2.1 Rodzaje, sposoby podziału oraz mocowanie i regulacja ustawienia kotew	320
9.3.2.2 Nośność kotew na rozciąganie	325
9.3.2.3 Nośność zakotwienia przy ścinaniu	332
9.3.2.4 Nośność śruby kotwiącej przy uwzględnieniu ścinania z rozciąganiem	335
9.3.2.5 Charakterystyka i metody projektowania zakotwień specjalnych	336
9.3.2.5.1 Informacje ogólne, kategorie stosowanych badań i podział kotew	336
9.3.2.5.2 Metody projektowania zakotwień specjalnych według [9.6]	339
9.3.2.5.3 Charakterystyka zakotwień specjalnych do celów projektowych	342
9.3.2.6 Wymagania dodatkowe i uwagi do wykonania zakotwień	342
9.3.3 Sztywność połączenia	344
9.3.4 Podstawy pierścieniowe	345
9.4 Podatne połączenia słupa z fundamentem (wybrane modele teoretyczne i badania eksperymentalne)	349
9.4.1 Pionierski model analityczny	349
9.4.2 Model mechaniczny	351
9.4.3 Modelowanie numeryczne	354
9.4.4 Wybrane wyniki badań eksperymentalnych	359
9.5 Projektowanie podstaw słupów z uwzględnieniem PN-EN 1993-1-8	367
9.5.1 Informacje ogólne i wprowadzenie	367
9.5.2 Obliczeniowa nośność węzła	370
9.5.2.1 Nośność strefy rozciąganej	370
9.5.2.1.1 Płyta podstawy i śruby	370

6 Spis treści

9.5.2.1.2 Ś rodnik i pas słupa poddane rozciąganiu	379
9.5.2.2 Nośność strefy ściskanej	379
9.5.2.2.1 Płyta podstawy i beton (z podlewką) poddane ściskaniu	379
9.5.2.2.2 Pas i ś rodnik słupa poddane ściskaniu	384
9.5.2.3 Złożenie nośności	385
9.5.2.3.1 Podstawy słupów poddane tylko działaniu sił podłuż- nych w słupie	385
9.5.2.3.2 Podstawy słupów poddane działaniu sił podłużnych i momentów zginających	385
9.5.3 Sztywność obrotowa	388
9.5.3.1 Współczynniki sztywności sprężystej	389
9.5.3.2 Określenie sztywności $S_{j,ini}$ i S_j w przypadku wybranego schematu rozkładu sił	391
9.5.4 Oszacowanie charakterystyki obrotowej $M-u$ węzła	393
9.6 Zakotwienia kominów (Andrzej Wojnar)	393
9.6.1 Opis konstrukcji zakotwień	393
9.6.2 Ś ruby kotwiące	394
9.6.3 Obliczanie zakotwień.	394
9.7 Przykłady obliczeń	396
Piśmiennictwo	453
10 Węzły konstrukcji zespolonych (Aleksander Kozłowski)	457
10.1 Wprowadzenie	457
10.2 Kształtowanie węzłów konstrukcji zespolonych	459
10.3 Badania doświadczalne węzłów i połączeń	462
10.3.1 Badania wyizolowanych węzłów zespolonych	462
10.3.2 Badania ram zespolonych	477
10.3.2.1 Badania ramy stalowej	478
10.3.2.2 Badania ramy z ryglem zespolonym	481
10.3.3 Badania łączników zespalających	483
10.4 Łączniki i połączenia w konstrukcjach zespolonych	500
10.4.1 Nośność łączników zespalających płytę betonową z belką	500
10.4.1.1 Sworznie z główkami	500
10.4.1.2 Łączniki blokowe	502
10.4.1.3 Łączniki kotwowe i pętlowe	503
10.4.1.4 Łączniki kątownikowe	503
10.4.1.5 Śruby sprężające	504
10.4.1.6 Łączniki listwowe z otworami (rys. 10.71)	504
10.4.1.7 Łączniki kątowe HILTI	507
10.4.2 Połączenia belek stalowych z trzonem żelbetowym	508
10.4.3 Nośność strefy wprowadzenia sił w słupach zespolonych	515
10.4.4 Styki słupów zespolonych	516
10.4.5 Zalecenia konstrukcyjne	518
10.4.5.1 Łączniki sworzniowe	520
10.4.5.2 Łączniki blokowe i kątownikowe	520

10.4.5.3 Łączniki kotwowe i pętlowe	520
10.4.5.4 Nośność płyty na ścinanie podłużne	521
10.5 Nośność, sztywność i zdolność do obrotu węzłów konstrukcji zespoleonych	523
Spis treści 7	
10.5.1 Metody modelowania węzłów	523
10.5.2 Metoda składnikowa	531
10.5.2.1 Określenie nośności węzła	532
10.5.2.2 Określenie sztywności początkowej węzła	537
10.5.2.3 Określenie zdolności do obrotu węzła zespoleonego	540
10.5.3 Normowa metoda obliczania nośności, sztywności i zdolności do obrotu węzłów zespoleonych	543
10.5.3.1 Nośność węzła zespoleonego	543
10.5.3.2 Sztywność początkowa węzła zespoleonego	546
10.5.3.3 Zdolność do obrotu węzłów zespoleonych	551
10.6 Wskazówki optymalnego kształtowania węzłów zespoleonych	551
10.7 Przykłady obliczeń	554
Piśmiennictwo	571
11 Nośność połączeń i węzłów pod obciążeniem zmęczeniowym (Lucjan ślęczka)	577
11.1 Wprowadzenie	577
11.2 Charakter obciążeń zmęczeniowych	579
11.2.1 Obciążenie o widmie jednorodnym	580
11.2.2 Obciążenie o widmie niejednorodnym – sposoby zliczania cykli naprężeń	581
11.2.3 Zakres naprężeń równoważnych	583
11.2.4 Rodzaje konstrukcji narażonych na zmęczenie	584
11.3 Czynniki wpływające na trwałość zmęczeniową połączeń	584
11.3.1 Zakres zmienności obciążenia	584
11.3.2 Wpływ karbu	585
11.3.3 Wpływ wytrzymałości mechanicznej	586
11.3.4 Wpływ naprężeń własnych	587
11.3.5 Wpływ naprężeń średnich	588
11.3.6 Wpływ wielkości (efekt skali)	589
11.3.7 Wpływ korozji	590
11.3.8 Wpływ wykonawstwa	590
11.4 Metody oceny trwałości zmęczeniowej	590
11.4.1 Metoda naprężeń nominalnych	591
11.4.2 Metoda naprężeń geometrycznych	600
11.4.3 Określanie trwałości zmęczeniowej na podstawie procedur zmęczenia niskocyklowego	610
11.4.4 Określanie trwałości zmęczeniowej na podstawie mechaniki pękania ..	615
11.5 Zachowanie się połączeń pod wpływem obciążeń zmęczeniowych	618
11.5.1 Połączenia spawane	618
11.5.2 Połączenia śrubowe	626
11.5.3 Połączenia rur	633
11.5.4 Konstrukcje cienkościenne	636

11.5.5 Połączenia podatne	638
11.6 Kształtowanie połączeń poddanych obciążeniom zmęczeniowym i zalecenia wykonawcze	639
11.7 Metody zwiększenia trwałości zmęczeniowej	640
11.8 Uwagi końcowe	643
11.9 Przykłady obliczeń	643
Piśmiennictwo	660
8 Spis treści	
12 Nośność połączeń i węzłów pod obciążeniem sejsmicznym (Lucjan Ślęczka)	665
12.1 Wprowadzenie	665
12.2 Charakterystyka wpływów sejsmicznych i parasejsmicznych	666
12.3 Oddziaływania sejsmiczne na budynki i budowle	669
12.4 Podstawowe zasady projektowania konstrukcji stalowych na terenach aktywnych sejsmicznie	671
12.5 Zachowanie się połączeń i kryteria ich kształtowania	675
12.6 Zasady oceny nośności	688
12.7 Badania doświadczalne połączeń poddanych obciążeniom cyklicznym	690
Piśmiennictwo	694
13 Kruche pękanie połączeń (Lucjan Ślęczka)	697
13.1 Wprowadzenie	697
13.2 Czynniki wpływające na skłonność do kruchego pękania	697
13.3 Ocena odporności na kruche pękanie za pomocą mechaniki pękania	702
13.4 Zapobieganie kruchemu pękaniu według PN-EN 1993-1-10	704
13.5 Dobór stali ze względu na ciągliwość międzywarstwową	708
13.6 Zalecenia kształtowania połączeń	710
13.7 Przykłady obliczeń	714
Piśmiennictwo	723
14 Wzmacnianie połączeń (Jan Łaguna)	725
14.1 Wstęp	725
14.1.1 Informacje ogólne	725
14.1.2 Zasady projektowania wzmocnień	726
14.1.3 Modele obliczeniowe	727
14.2 Wzmacnianie przekrojów elementów lub części łączonych	728
14.2.1 Wzmacnianie przekrojów elementów lub części rozciąganych osiowo ..	728
14.2.2 Wzmacnianie przekrojów elementów lub części ściskanych osiowo ...	729
14.2.3 Wzmacnianie przekrojów elementów lub części zginanych jednokierunkowo	730
14.3 Wzmacnianie połączeń zakładkowych	733
14.4 Wzmacnianie nominalnie przegubowych połączeń belek	735
14.5 Wzmacnianie śrubowych połączeń doczołowych	737
14.6 Wzmacnianie połączeń spawanych	739
14.7 Wzmacnianie połączeń belek ze słupami przez dołączenie skosu	741
14.7.1 Wzmacnianie spawanego węzła belki ze słupem	741
14.7.2 Zamiana węzła belki ze słupem z nominalnie przegubowego na sztywny śrubowymi połączeniami skosu pod pasem dolnym i łącznika do pasa	

górnego (rys. 14.11b)	743
14.8 Wzmacnianie połączeń z fundamentami	743
14.9 Przykłady obliczeń	745
Piśmiennictwo	762
15 Zasady badań doświadczalnych (Lucjan Ślęczka, Aleksander Kozłowski)	763
15.1 Wprowadzenie	763
15.2 Rodzaje i metody badań doświadczalnych węzłów i połączeń	763
15.3 Stanowiska badawcze i metodyka pomiarów	778
15.3.1 Stanowiska badawcze	778
Spis treści 9	
15.3.2 Przyrządy pomiarowe	779
15.3.3 Badania łączników i spoin	781
15.3.4 Badania węzłów ram	782
15.3.5 Badania węzłów kratownic	788
15.3.6 Doświadczalne kryteria nośności	788
15.4 Metodyka badań doświadczalnych	789
15.5 Wyniki badań i ich ocena	792
15.5.1 Wyniki badań	792
15.5.2 Analiza wyników badań	792
Piśmiennictwo	795
Skorowidz ważniejszych pojęć	797