

Spis treści

Przedmowa do części 2	XIII
Podstawowe oznaczenia	XIV
9. Ugięcia i nośności dźwigarów pełnościennych	1
9.1. Ogólna charakterystyka i zastosowanie dźwigarów pełnościennych . .	1
9.2. Klasyfikacja, oznaczenia cech geometrycznych przekrojów belek . . .	2
9.3. Ogólne podstawy projektowania dźwigarów pełnościennych	4
9.3.1. Długość obliczeniowa i konstrukcyjna belki	4
9.3.2. Reakcje podporowe, siły i momenty zginające przekrojowe, nośności przekrojów	5
9.3.3. Ugięcia	6
9.4. Zwichrzenie dźwigara pełnościennego	7
9.4.1. Zjawisko zwichrzenia	7
9.4.2. Teoretyczne podstawy określania momentów krytycznych zwichrzenia	9
9.4.3. Moment krytyczny belki monosymetrycznej	10
9.4.4. Moment krytyczny dwuteowej belki bisymetrycznej	14
9.4.5. Moment krytyczny belki wspornikowej	16
9.4.6. Współczynnik zwichrzenia i smukłość względna	18
9.5. Nośność dźwigara bez pośrednich podparć bocznych zabezpieczających przed zwichrzeniem	21
9.5.1. Uwagi ogólne	21
9.5.2. Zginanie jednokierunkowe	22
9.5.3. Zginanie dwukierunkowe	22
Przykład P9.1. Belka jednoprzęsłowa niestężona, podparta widelkowo na podporach	23
Przykład P9.2. Belka wspornikowa niestężona	25
Przykład P9.3. Jednoprzęsłowy dźwigar spawany obciążony siłami rozłożonymi, podparty widelkowo, bez stężenia pośredniego	26
Przykład P9.4. Jednoprzęsłowy dźwigar spawany obciążony ciężarem własnym (w montażu)	28

9.6.	Konstrukcyjne zabezpieczenia (stężenia boczne) przed zwichrzeniem	31
9.6.1.	Uwagi ogólne	31
9.6.2.	Punktowe konstrukcyjne stężenia zabezpieczające przed zwichrzeniem	31
	Przykład P9.5. Dźwigar spawany ze stężeniem bocznym punktowym pasa ściskanego	36
9.6.4.	Stężenia konstrukcyjne wymuszające oś obrotu zwichrzenia belki	38
9.6.5.	Ciągłe konstrukcyjne stężenia zabezpieczające belki przed zwichrzeniem	39
9.7.	Nośność zginanych dźwigarów zabezpieczonych konstrukcyjnie przed zwichrzeniem	41
9.7.1.	Zginanie jedno- i dwukierunkowe	41
9.7.2.	Ścinanie przekrojów	43
9.7.3.	Zginanie ze ścinaniem	45
9.7.4.	Zginanie z siłą podłużną	45
9.7.5.	Kryterium początku uplastycznienia	47
	Przykład P9.6. Nośność plastyczna zginanego dźwigara walcowanego jednoprzęsłowego	49
	Przykład P9.7. Nośność zginanego i ścinanego monosymetrycznego dźwigara spawanego	50
	Przykład P9.8. Dźwigar zginany i ściskany zabezpieczony przed zwichrzeniem	53
9.8.	Skręcanie belek z kształtowników	55
9.8.1.	Podstawy teoretyczne	55
9.8.2.	Wewnętrzne momenty skręcające	57
9.8.3.	Naprężenia w przekrojach poprzecznych	59
9.8.4.	Nośność przekrojów skręcanych według Eurokodu	61
	Przykład P9.9. Nośność dźwigara walcowanego skręcanego i zginanego	61
9.9.	Analiza sprężysta belek statycznie niewyznaczalnych	66
9.9.1.	Uwagi ogólne	66
9.9.2.	Momenty zginające w zakresie sprężystym, nośność	67
9.10.	Globalna analiza plastyczna belek statycznie niewyznaczalnych	69
9.10.1.	Założenia i metody analizy	69
9.10.2.	Przegub plastyczny	70
9.10.3.	Metoda przyrostowa w określaniu obciążeń granicznych	73
9.10.4.	Zasada prac wirtualnych w określaniu obciążeń granicznych	75
9.10.5.	Nośność belki statycznie niewyznaczalnej	77
	Przykład P9.10. Obciążenia graniczne belki walcowanej jednoprzęsłowej obustronnie utwierdzonej określone metodą przyrostową	78
	Przykład P9.11. Obciążenia graniczne belki walcowanej jednoprzęsłowej jednostronnie utwierdzonej określone wg zasady prac wirtualnych	81

	Przykład P9.12. Nośność podciagu trójprzęsłowego określona metodą kinematyczną	83
9.11.	Środek belki pod obciążeniem skupionym	86
9.11.1.	Rodzaje odkształceń środka	86
9.11.2.	Naprężenia ściskające w środku przy obciążeniu skupionym	86
9.11.3.	Nośność środka przy lokalnym uplastycznieniu i utracie stateczności miejscowej	88
9.11.4.	Długość strefy docisku	88
9.11.5.	Długość efektywnej strefy rozkładu naprężeń	89
9.11.6.	Interakcja nośności od obciążenia skupionego, momentu zginającego i siły podłużnej	91
9.11.7.	Nośność środka przy wyboczeniu	91
	Przykład P9.13. Nośność środka belki pod obciążeniem skupionym	92
9.12.	Niestateczność miejscowa nieuźebrowanych zginanych przekrojów klasy 4	96
9.12.1.	Uwagi ogólne	96
9.12.2.	Przekrój efektywny belki z pasem klasy 4	98
9.12.3.	Przekrój efektywny środka klasy 4	100
9.12.4.	Przekrój współpracujący klasy 4	101
9.12.5.	Niestateczność środka przy ścinaniu	102
9.12.6.	Stateczność pasa przy smukłym środku	104
9.12.7.	Interakcja poprzecznych sił ścinających, momentu zginającego i siły podłużnej	104
	Przykład P9.14. Nośność dźwigara spawanego o przekroju poprzecznym klasy 4	105
9.13.	Podparcia i utwierdzenia belek	108
9.13.1.	Uwagi ogólne	108
9.13.2.	Podparcie w ścianach	108
9.13.3.	Utwierdzenie końca belki w ścianie	114
9.13.4.	Podparcia belek na podciągach stalowych	115
10.	Belki walcowane	119
10.1.	Przekroje poprzeczne	119
10.2.	Belki bisymetryczne	121
10.2.1.	Dobór przekroju poprzecznego	121
10.2.2.	Procedura projektowania	122
	Przykład P10.1. Belka walcowana bisymetryczna jednoprzęsłowa	122
	Przykład P10.2. Belka dwuprzęsłowa bisymetryczna	123
10.3.	Belki walcowane, ażurowe	125
	Przykład P10.3. Dźwigar ażurowy z kształtowników walcowanych	129
10.4.	Belki monosymetryczne o przekroju ceowym	132
	Przykład P10.4. Rygiel ściany osłonowej z pojedynczego ceownika	134
10.5.	Niesymetryczne przekroje belek	137
	Przykład P10.5. Płatew okapowa o niesymetrycznym przekroju poprzecznym	139

10.6.	Belki wzmacniane	142
	Przykład P10.6. Wzmocniona walcowana belka stropowa	144
11.	Platwie dachowe	146
11.1.	Charakterystyka ogólna	146
11.2.	Schematy statyczne i obciążenia	148
11.2.1.	Jednoprzęsłowe i wieloprzęsłowe płatwie	148
11.2.2.	Jednokierunkowe i dwukierunkowe zginanie	150
11.3.	Płatwie z kształtowników walcowanych	151
11.3.1.	Schematy statyczne – podwieszane płatwie	151
11.3.2.	Zwicherungie płatwi walcowanych	154
11.3.3.	Płatwie stężane pokryciem dachu	154
	Przykład P11.1. Podwieszana trójpłaszczyznowa dachowa z kształtownika IPE 160	154
11.3.4.	Płatwie walcowane stężane blachami profilowanymi	161
	Przykład P11.2. Płaszczyznowa wielopłaszczyznowa z kształtownika walcowanego stężona blachą faldową	168
11.4.	Płatwie cienkościenne z kształtowników profilowanych na zimno	172
11.4.1.	Wiadomości ogólne. Stałe wyjściowe	172
11.4.2.	Cechy geometryczne profili cienkościennych	173
11.4.3.	Niestateczność miejscowa i dystorsyjna	175
11.4.4.	Niestateczność ogólna (zwicherungie) płatwi przy wymuszonej poszyciu osi obrotu	180
11.4.5.	Nośność przy zginaniu	186
	Przykład P11.3. Płaszczyznowa o przekroju cienkościennym ceowym, z pojedynczym zagięciem, jednopłaszczyznowa, stężona poszyciem z blachy trapezowej	187
	Przykład P11.4. Płaszczyznowa cienkościenne o przekroju zetowym, wielopłaszczyznowa ze stężeniem z blachy faldowej	196
12.	Spawane dźwigary pełnościenne	205
12.1.	Informacje ogólne, przekroje poprzeczne	205
12.2.	Projektowanie wymiarów przekrojów poprzecznych dźwigarów nieuzbrojonych podłużnie	206
12.2.1.	Ciężar własny	206
12.2.2.	Wysokość środknika	206
12.2.3.	Grubość środknika	207
12.2.4.	Przekrój pasa	208
12.3.	Kształtowanie podłużne blachownicy	208
12.4.	Nośność blachownicy	212
12.5.	Styki warsztatowe i montażowe blachownicy. Spoiny łączące pasy ze środknikiem	212
	Przykład P12.1. Dźwigar spawany pełnościenny jednopłaszczyznowy ze stopniowaną grubością pasów	214

Przykład P12.2.	Dźwigar spawany dwuprzęsłowy	221
12.6.	Dźwigary spawane ze środnikami z cienkich blach profilowanych	228
12.6.1.	Cechy geometryczne i zastosowanie	228
12.6.2.	Nośność przy zginaniu	229
12.6.3.	Nośność przy ścinaniu	230
12.6.4.	Ugięcie dźwigarów	231
12.7.	Dźwigary spawane uzębrowane	231
12.7.1.	Charakterystyka i zastosowanie	231
12.7.2.	Teoretyczne podstawy stateczności miejscowej idealnych płyt prostokątnych	233
12.7.3.	Przekrój efektywny przekroju poprzecznego zginanego uzębrowanego dźwigara ze ściankami klasy 4	241
12.7.4.	Nośność przy ścinaniu środników klasy 4 przekrojów poprzecznych dźwigarów spawanych	253
12.7.5.	Żebra usztywniające środniki klasy 4	257
Przykład P12.3.	Dźwigar spawany z żebrami podłużnymi i poprzecznymi	263
Przykład P12.4.	Dźwigar skrzynkowy spawany z uzębrowanymi ściankami klasy 4	274
12.7.6.	Stateczność środników klasy 4 w świetle metody naprężeń zredukowanych	285
Przykład P12.5.	Stateczność środnika dźwigara spawanego obliczona metodą naprężeń zredukowanych	291
13.	Węzły, połączenia elementów zginanych	297
13.1.	Definicja węzła	297
13.2.	Klasyfikacje węzłów	297
13.2.1.	Klasyfikacja sztywności węzłów	298
13.2.2.	Klasyfikacja nośności	299
13.3.	Modelowanie węzłów	300
13.4.	Połączenia przegubowe elementów zginanych	302
13.4.1.	Rodzaje i podział połączeń	302
13.4.2.	Połączenia przegubowe belki z nakładkami z płaskowników	305
Przykład P13.1.	Połączenie przegubowe zakładkowe, śrubowe belki z podciągami	309
13.4.3.	Połączenia przegubowe śrubowe z zakładkami z kątowników pomocniczych	311
Przykład P13.2.	Połączenie przegubowe belki z podciągami z kątownikami pomocniczymi	312
13.4.4.	Połączenia przegubowe śrubowe z blachami czołowymi	315
13.4.5.	Połączenia przegubowe ze stołkami podporowymi	316
Przykład P13.3.	Połączenie przegubowe belki ze słupem z podatnym stołkiem podporowym	319
Przykład P13.4.	Połączenie przegubowe belki ze słupem i sztywnym stołkiem podporowym	321

13.4.6.	Spawane połączenia przegubowe belki ze słupem	323
Przykład P13.5.	Połączenie przegubowe belki ze słupem ze spawanymi kątownikami pomocniczymi	326
13.4.7.	Styki przegubowe zakładkowe belek	328
Przykład P13.6.	Styk zakładkowy przegubowy belki walcowanej	329
13.5.	Węzły sztywne	331
13.5.1.	Konstrukcje, rodzaje sztywnych węzłów i połączeń	331
13.5.2.	Siły i momenty działające w węźle i modelu każdego węzła	332
13.5.3.	Nośność węzła sztywnego rygla z nieuźebrowanym środnikiem słupa	333
13.6.	Węzły śrubowe (doczołowe) rygli ze słupami ram z kształtowników dwu- teowych	334
13.6.1.	Uwagi ogólne	334
13.6.2.	Nośności obliczeniowe podstawowych elementów składowych węzła	335
13.6.3.	Modele zniszczenia zastępczych króćców teowych	337
13.6.4.	Nośność zginanego pasa słupa w węźle doczołowym	338
13.6.5.	Nośność zginanej blachy czołowej siłą rozciągającą $N_{t,Ed}$	342
13.6.6.	Nośność pasów i środnika belki w węźle doczołowym	343
13.6.7.	Nośność węzłów doczołowych	344
13.6.8.	Sztywność obrotowa węzła	344
Przykład P13.7.	Węzeł doczołowy rygla ramy IPE 300 i słupa HEB 240	348
13.7.	Węzły z nakładkami z kątowników	358
13.7.1.	Uwagi ogólne	358
13.7.2.	Nośność elementów węzła	359
13.7.3.	Sztywność węzła z nakładkami z kątowników	360
13.8.	Węzły spawane rygli ze słupami z nieuźebrowanymi środnikami	360
13.8.1.	Uwagi ogólne	360
13.8.2.	Nośność obliczeniowa elementów podstawowych połączenia	362
Przykład P13.8.	Nieuźebrowany węzeł spawany rygla IPE 300 ze słu- pem HEB 240	363
13.9.	Zdolność węzła do obrotu	366
13.9.1.	Zasady ogólne	366
13.9.2.	Węzły sztywne śrubowe	367
13.9.3.	Węzły sztywne spawane	368
13.10.	Węzły z uźebrowanymi panelami środników słupów	370
13.10.1.	Wytyczne obliczeń	370
13.10.2.	Pole przekrojów żeber usztywniających	372
Przykład P13.9.	Węzeł spawany z żebrami poziomymi usztywniający- mi panel środnika słupa	373
Przykład P13.10.	Spawany węzeł sztywny narożny ramy prostokątnej	374
13.11.	Połączenia ciągle zakładkowe	377
13.11.1.	Połączenia krzyżujących się belek	377
Przykład P13.11.	Połączenie sztywne belki ciągłej z podciągami z na- kładkami z płaskowników	379

Przykład P13.12. Połączenie sztywne belki ciągłej z podciągami z blachami czołowymi belek	383
13.12. Styki ciągłe (sztywne) belek	385
13.12.1. Rodzaje styków sztywnych	385
13.12.2. Styk zakładkowy śrubowy lub spawany	387
Przykład P13.13. Styk ciągły belki walcowanej jednoprzęsłowej	388
13.12.3. Styk śrubowy z blachami czołowymi	392
Przykład P13.14. Styk ciągły śrubowy doczołowy rygla ramy	393
13.12.4. Styki słupów wielokondygnacyjnych	395
Przykład P13.15. Styk śrubowy rury rozciąganej	397
14. Ramy nośne	399
14.1. Uwagi ogólne, schematy statyczne, przekroje poprzeczne	399
14.2. Podstawy obliczania nośności ram metodą globalnej analizy sprężystej	402
Przykład P14.1. Rama stalowa parterowa jednoprzęsłowa, przechyłowa	403
Przykład P14.2. Rama nośna sześciokondygnacyjnego budynku	410
14.3. Globalna analiza plastyczna ram stalowych	418
14.3.1. Założenia i uwagi ogólne	418
14.3.2. Analiza plastyczna ram z uwzględnieniem teorii I rzędu	419
Przykład P14.3. Analiza plastyczna ramy portalowej – metoda statyczna	420
Przykład P14.4. Analiza plastyczna ramy dwuryglowej sześciokrotnie statycznie niewyznaczalnej metodą kinematyczną	421
14.3.3. Stężenia punktowe boczne i przeciwskrętne w miejscach przegubów plastycznych	429
14.4. Konstrukcje węzłów	438
14.4.1. Uwagi ogólne	438
14.4.2. Węzły spawane	438
14.4.3. Uzębrowane węzły śrubowe	440
14.4.4. Naroża spawane pachwinowe (z zaokrąglonymi pasami wewnętrznymi)	441
14.5. Siły wewnętrzne i nośności elementów składowych uzębrowanych węzłów ram	441
14.5.1. Rodzaje modeli obliczeniowych węzłów	441
14.5.2. Model obliczeniowy węzła wierzchołkowego w konfiguracji jednostronnej bez skosów (naroża)	443
Literatura	446
Książki i artykuły	446
Normy	448