

# Spis treści

Przedmowa do części 2 . . . . .	XIII
Podstawowe oznaczenia . . . . .	XIV
<b>9. Ugięcia i nośności dźwigarów pełnościennych . . . . .</b>	<b>1</b>
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 podciągu 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 nieuzbrojonych 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
<b>10. Belki walcowane . . . . .</b>	<b>119</b>
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
<b>11.</b>	<b>Płatwie dachowe . . . . .</b>	<b>146</b>
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. Zwichrzenie płatwi walcowanych . . . . .	154
	11.3.3. Płatwie stężane pokryciem dachu . . . . .	154
	Przykład P11.1. Podwieszana trójprzęsłowa płatew dachowa z kształtownika IPE 160 . . . . .	154
	11.3.4. Płatwie walcowane stężane blachami profilowanymi . . . . .	161
	Przykład P11.2. Płatew wieloprzęsłowa z kształtownika walcowanego stężona blachą fałdową . . . . .	168
11.4.	Płatwie cienkościennie 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 (zwichrzenie) płatwi przy wymuszonej poszyciem osi obrotu . . . . .	180
	11.4.5. Nośność przy zginaniu . . . . .	186
	Przykład P11.3. Płatew o przekroju cienkościennym ceowym, z pojedynczym zagięciem, jednoprzęsłowa, stężona poszyciem z blachy trapezowej . . . . .	187
	Przykład P11.4. Płatew cienkościenna o przekroju zetowym, wieloprzęsłowa ze stężeniem z blachy fałdowej . . . . .	196
<b>12.</b>	<b>Spawane dźwigary pełnościennie . . . . .</b>	<b>205</b>
12.1.	Informacje ogólne, przekroje poprzeczne . . . . .	205
12.2.	Projektowanie wymiarów przekrojów poprzecznych dźwigarów nieuzębrowanych podłużnie . . . . .	206
	12.2.1. Ciężar własny . . . . .	206
	12.2.2. Wysokość środnika . . . . .	206
	12.2.3. Grubość środnika . . . . .	207
	12.2.4. Przekrój pasa . . . . .	208
12.3.	Kształtowanie podłużne blachownicy . . . . .	208
12.4.	Nośność blachownic . . . . .	212
12.5.	Styki warsztatowe i montażowe blachownicy. Spoiny łączące pasy ze środnikiem . . . . .	212
	Przykład P12.1. Dźwigar spawany pełnościenny jednoprzęsłowy 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 uźebrowane . . . . .	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 uźebrowanego 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 uźebrowanymi 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
<b>13. Węzły, połączenia elementów zginanych . . . . .</b>	<b>297</b>
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 nieuzębrowanym środkiem 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 środka 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 nieuzębrowanymi środkami . . . . .	360
13.8.1.	Uwagi ogólne . . . . .	360
13.8.2.	Nośność obliczeniowa elementów podstawowych połączenia . . . . .	362
	Przykład P13.8. Nieuzębrowany 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 uzębrowanymi panelami środków 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 środka słupa . . . . .	373
	Przykład P13.10. Spawany węzeł sztywny narożny ramy prostokątnej . . . . .	374
13.11.	Połączenia ciągłe 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
<b>14. Ramy nośne . . . . .</b>	<b>399</b>
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
<b>Literatura . . . . .</b>	<b>446</b>
Książki i artykuły . . . . .	446
Normy . . . . .	448