

Spis treści

Od autorów	11
1. Wprowadzenie. Podstawowe pojęcia i oznaczenia	13
1.1. Ogólna charakterystyka dźwigarów zespolonych typu beton-stal	13
1.2. Ważniejsze określenia i oznaczenia	20
1.2.1. Ważniejsze określenia	20
1.2.2. Podstawowe oznaczenia	23
2. Metody budowy mostów zespolonych. Oddziaływania	27
2.1. Sposoby realizacji dźwigarów zespolonych. Fazy i etapy wykonania	27
2.2. Procedura obliczania dźwigarów zespolonych	32
2.3. Stany graniczne nośności i użyteczności	33
2.4. Układy oddziaływań w ujęciu PN-EN	35
2.4.1. Zasady ustalania kombinacji obciążeń	35
2.4.2. Kombinacja obciążeń	36
2.4.2.1. Stany graniczne nośności z wyłączeniem zmęczenia	36
2.4.2.2. Stany graniczne nośności przy obliczaniu zmęczenia	44
2.4.2.3. Stany graniczne użyteczności	45
2.5. Oddziaływania	45
2.5.1. Rodzaje oddziaływań	45
2.5.2. Obciążenia stałe	46
2.5.3. Obciążenia ruchome	46
2.5.3.1. Klasyfikacja obciążeń ruchomych	46
2.5.3.2. Obciążenia ruchome	47
2.5.4. Obciążenia montażowe	47
2.5.5. Obciążenia wywołane skurczem betonu. Redukcja skurczu betonu	52
2.5.6. Oddziaływania termiczne	53
3. Materiały	58
3.1. Uwagi ogólne	58
3.2. Stal konstrukcyjna	59
3.2.1. Kryteria doboru stali	59
3.2.2. Stałe materiału	61
3.2.3. Wybrane rodzaje stali i ich właściwości	61
3.2.4. Dane do projektowania	62

3.3.	Beton	64
3.3.1.	Cechy betonu ściskanego	64
3.3.2.	Dobór betonu. Wytrzymałość	66
3.3.3.	Charakterystyki związane z odkształceniami betonu	68
3.3.4.	Skurcz betonu	69
3.3.5.	Pełzanie betonu	73
3.3.5.1.	Wprowadzenie	73
3.3.5.2.	Miary pełzania według norm PN-EN	75
3.3.5.3.	Podstawowy współczynnik pełzania φ_0	78
3.4.	Stal zbrojeniowa	81
3.5.	Stal sprężająca	83
3.6.	Wartości obliczeniowe dla betonu zbrojonego i sprężonego	85
3.6.1.	Beton	85
3.6.2.	Stal zbrojeniowa	86
3.6.3.	Stal sprężająca	87
4.	Zasady ogólne projektowania	89
4.1.	Obliczenia statyczne	89
4.1.1.	Siły przekrojowe i przemieszczenia	89
4.1.2.	Kombinacja globalnych i lokalnych efektów oddziaływań	92
4.1.3.	Modele obliczeniowe	93
4.1.4.	Zespolone dźwigary kratowe	94
4.1.4.1.	Uwagi ogólne	94
4.1.4.2.	Wpływ ugięcia kratownicy na naprężenia w górnym pasie zespolonym	95
4.1.4.3.	Dźwigar kratowy z płytą zespoloną na całej długości pasa górnego	97
4.1.4.4.	Dźwigar kratowy z płytą zespoloną tylko w węzłach pasa górnego	98
4.2.	Sprawdzanie stanów granicznych nośności (SGN)	99
4.3.	Nośność przekroju poprzecznego	100
4.4.	Sprawdzanie stanów granicznych użyteczności (SGU)	100
4.5.	Zasady uwzględniania oddziaływań termicznych i reologicznych	101
4.5.1.	Uwagi ogólne	101
4.5.2.	Wpływy termiczne	102
4.5.3.	Pełzanie i skurcz betonu	103
4.5.4.	Wpływ temperatury i reologii betonu w dźwigarach kratowych	105
5.	Określenie przekroju	107
5.1.	Przekrój zespolony	107
5.1.1.	Charakterystyka ogólna przekroju zespolonego typu beton-stal	107
5.1.2.	Klasy przekroju zespolonego	109
5.2.	Przekrój sprowadzony	114
5.3.	Szerokość współpracująca płyty betonowej (szerokość efektywna)	115
5.3.1.	Szerokość współpracująca w obliczeniach statycznych i wytrzymałościowych	115
5.3.2.	Szerokość efektywna płyty w przenoszeniu sił sprężających	116
5.4.	Sztywność sprężysta przekroju na zginanie	117
5.4.1.	Przekrój z płytą ściskaną	117
5.4.2.	Przekrój z płytą rozciąganą	119
5.4.3.	Rozdział sił przekrojowych M_j i N_j na płytę i belkę stalową	120
5.4.4.	Rozkład sztywności przekroju na skutek zarysowania	121
5.5.	Sztywność na skręcanie dźwigarów skrzynekowych	123

6.	Wpływ oddziaływań termicznych na siły wewnętrzne i przemieszczenia	124
6.1.	Założenia ogólne	124
6.2.	Rozkłady liniowe temperatury na wysokości przekroju płyty	125
6.3.	Rozkłady biliniowe temperatury według PN-EN (Model 2 normalny)	128
6.4.	Rozkład liniowy temperatury na całej wysokości przekroju zespolonego (Model 1 według PN-EN)	130
6.5.	Rozkład krzywoliniowy temperatury na wysokości dźwigara stalowego	132
6.6.	Przykłady	132
6.6.1.	Przykład 1	132
6.6.2.	Przykład 2	137
7.	Wpływ oddziaływań reologicznych na siły wewnętrzne i przemieszczenia	142
7.1.	Przyczyny i efekty pełzania betonu w dźwigarach zespolonych	142
7.2.	Metody obliczeń efektów pełzania	146
7.2.1.	Wprowadzenie	146
7.2.2.	Teoria Arutiuniana	150
7.2.3.	Klasyczna teoria starzenia (Dischingera)	151
7.2.4.	Teoria Liwszyca	152
7.2.5.	Teoria Trosta	154
7.2.6.	Metoda zastępczego współczynnika sprężystości betonu (ZWSB)	157
7.3.	Efekty pełzania betonu pod wpływem obciążeń stałych	160
7.3.1.	Rozwiązania klasycznej teorii starzenia	160
7.3.2.	Metoda Trosta	162
7.3.3.	Metoda zastępczego współczynnika sprężystości betonu (ZWSB)	163
7.4.	Efekty skurczu betonu	167
7.4.1.	Rozwiązania klasycznej teorii starzenia	167
7.4.2.	Metoda Trosta	168
7.4.3.	Metoda zastępczego współczynnika sprężystości betonu (ZWSB)	169
7.5.	Efekty przemieszczenia podpór z uwzględnieniem pełzania (Metoda zastępczego współczynnika sprężystości betonu ZWSB)	171
7.5.1.	Szybka zmiana punktów podparcia dźwigara zespolonego	171
7.5.2.	Stopniowe osiadanie podpory dźwigara zespolonego	174
7.6.	Przykłady	175
7.6.1.	Dane wyjściowe	175
7.6.2.	Przykład 1	177
7.6.3.	Przykład 2	182
8.	Stany graniczne nośności przekroju poprzecznego	187
8.1.	Nośność przekroju zginanego	187
8.1.1.	Zasady ogólne	187
8.1.2.	Przekroje z płytą betonową ściskaną	192
8.1.2.1.	Nośność w zakresie plastycznym	192
8.1.2.2.	Nośność w zakresie sprężysto-plastycznym (nośność nieliniowa)	195
8.1.2.3.	Nośność sprężysta	196
8.1.3.	Przekroje z płytą betonową rozciąganą	198
8.1.3.1.	Nośność plastyczna przekroju	198
8.1.3.2.	Nośność sprężysta przekroju	199

8.1.4.	Przekroje z płytą sprężoną	200
8.1.4.1.	Uwagi ogólne	200
8.1.4.2.	Nośność w zakresie pozasprężystym	201
8.1.4.3.	Nośność w zakresie sprężystym	201
8.2.	Ścinanie	202
8.2.1.	Zasady ogólne	202
8.2.2.	Nośność plastyczna na ścinanie	202
8.2.3.	Nośność sprężysta na ścinanie	205
8.3.	Zginanie ze ścinaniem	205
8.3.1.	Złożony stan naprężenia – krzywe interakcji	205
8.3.2.	Naprężenia zastępcze	207
8.4.	Zespolone pręty dźwigarów kratowych	208
8.4.1.	Zasady ogólne	208
8.4.2.	Płyta zespolona tylko w węzłach dźwigara kratowego	209
8.4.3.	Płyta zespolona na całej długości pręta	210
8.5.	Strefa zakotwień dźwigarów ze sprężoną płytą betonową	211
8.6.	Obliczanie na zmęczenie	212
8.6.1.	Zasady ogólne	212
8.6.2.	Metoda naprężeń ekwiwalentnych	213
8.6.3.	Wytrzymałość zmęczeniowa	229
8.6.4.	Modele obciążenia zmęczeniowego w metodzie ekwiwalentnych naprężeń	232
8.6.5.	Zasady ustalania oddziaływań zmęczeniowych	233
9.	Stateczność	235
9.1.	Zwicherungie (utrata płaskiej postaci zginania)	235
9.1.1.	Zasady ogólne	235
9.1.2.	Sprawdzenie na zwicherungie	237
9.2.	Stateczność prętów ściskanych	239
9.3.	Stateczność miejscowa elementów pełnościennych	240
9.3.1.	Zasady ogólne sprawdzania stateczności przy działaniu naprężeń normalnych	240
9.3.2.	Metoda szerokości współpracującej	242
9.3.3.	Żebra usztywniające	248
9.4.	Efekt tzw. oddychania środnika i ograniczenie jego skutków	250
10.	Nośność zespolenia	252
10.1.	Zasady ogólne	252
10.2.	Zespolenie płyty z dźwigarem stalowym	254
10.2.1.	Zasady ogólne	254
10.2.2.	Obliczanie sił rozwarstwiających w zakresie sprężystym	258
10.2.3.	Zespolenie płyty z dźwigarem stalowym w zakresie poza sprężystym	264
10.2.4.	Nośność zespolenia	266
10.3.	Obwiednie jednostkowych sił rozwarstwiających i rozmieszczanie łączników w zakresie sprężystym w belce ciągłej	270
10.4.	Nośność łączników	272
10.4.1.	Łączniki sworzniowe z główkami	272
10.4.2.	Łączniki sworzniowe z główkami – poziome	274
10.4.3.	Sworznie bez główek	275
10.4.4.	Łączniki masywne	275

10.4.5.	Łączniki masywne z pętłami	277
10.4.6.	Łączniki listwowe	278
10.5.	Stany graniczne naprężeń w zespoleniu	279
10.6.	Sprawdzanie na zmęczenie zespolenia	279
10.6.1.	Zasady ogólne	279
10.6.2.	Obliczanie ekwiwalentnych naprężeń zastępczych ścinających	279
10.6.3.	Nośność na zmęczenie zespolenia za pomocą sworzni	282
10.6.4.	Nośność na zmęczenie zespolenia za pomocą łączników blokowych i listwowych	284
10.7.	Ocena wytrzymałości na zmęczenie łączników	284
10.7.1.	Łączniki w postaci sworzni	284
10.7.2.	Łączniki listwowe	285
10.7.3.	Łączniki blokowe	286
10.7.4.	Sprawdzenie spoin mocujących łączniki do pasa	286
10.8.	Nośność na ścinanie płaszczyzny zespolenia. Zbrojenie poprzeczne	287
10.8.1.	Nośność przekrojów betonowych na ścinanie wokół łącznika (łączników) ...	287
10.8.2.	Sprawdzenie na zmęczenie ze względu na ścinanie	291
10.8.3.	Minimalne zbrojenie poprzeczne	291
10.8.4.	Zbrojenie zabezpieczające przed powstaniem rys podłużnych	292
10.8.5.	Zbrojenie zabezpieczające przed rozerwaniem płyty	292
11.	Stany graniczne użytkowości	294
11.1.	Przemieszczenia dźwigarów zespolonych	294
11.1.1.	Przemieszczenia pionowe	294
11.1.2.	Przemieszczenia poziome	295
11.2.	Podniesienie wykonawcze	296
11.3.	Stan graniczny zarysowania	297
11.3.1.	Uwagi ogólne	297
11.3.2.	Stan graniczny powstawania rys poprzecznych	298
11.3.3.	Stan graniczny szerokości rys poprzecznych	298
11.4.	Stan graniczny naprężeń	302
11.5.	Stany graniczne wygody użytkowników mostów	303
11.5.1.	Mosty kolejowe	303
11.5.2.	Mosty (kładki) dla pieszych	304
11.5.3.	Mosty drogowe	305
11.6.	Stany graniczne bezpieczeństwa ruchu taboru kolejowego	306
11.6.1.	Przyspieszenia drgań pionowych pomostu	306
11.6.2.	Skręcenie pomostu	307
11.6.3.	Przemieszczenia swobodnych końców przęseł	308
11.6.3.1.	Uwagi ogólne	308
11.6.3.2.	Przemieszczenia podłużne i pionowe swobodnych końców pomostów	310
11.6.3.3.	Obroty swobodnych końców przęseł i dopuszczalne dodatkowe naprężenia w szynach	311
11.6.3.4.	Uwagi o metodach obliczeń układu „konstrukcja + tor”	312
11.6.4.	Poziome przemieszczenia i drgania pomostu	313
12.	Wymagania konstrukcyjne	315
12.1.	Płyta żelbetowa	315
12.1.1.	Płyty monolityczne i prefabrykowane	315

12.1.2.	Płyty złożone	317
12.2.	Dźwigary stalowe	317
12.3.	Łączniki	318
12.3.1.	Geometria łączników	318
12.3.2.	Rozmieszczanie łączników	319
12.4.	Zbrojenie poprzeczne	321
12.5.	Zbrojenie podłużne płyty rozciąganej	321
12.5.1.	Wymagania ogólne	321
12.5.2.	Płyta bez sprężenia ciągnami	322
12.5.3.	Płyta sprężona ciągnami	324
13.	Sprawdzanie nośności istniejących mostów o dźwigarach zespolonych	326
13.1.	Zasady ogólne	326
13.2.	Oddziaływania (obciążenia)	328
13.3.	Cechy materiałów	330
13.3.1.	Stal konstrukcyjna	330
13.3.2.	Beton	333
13.3.3.	Stal zbrojeniowa	335
13.4.	Ocena właściwości konstrukcji i rodzaje interwencji	336
13.5.	Nośność użytkowa obiektów mostowych	338
13.5.1.	Określanie nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych według [N2]	338
13.5.2.	Określanie nośności użytkowej kolejowych obiektów mostowych według PN-EN 15528+A1 [N40]	339
14.	Pręsła z belek stalowych obetonowanych	342
14.1.	Konstrukcja	342
14.2.	Elementy technologii [N11]	344
14.3.	Założenia ogólne i zakres obliczeń	345
14.4.	Analiza konstrukcji	347
14.4.1.	Założenia	347
14.4.2.	Analiza uproszczona	349
14.4.3.	Dokładniejsze metody analizy	351
14.5.	Stany graniczne użytkowania	353
14.5.1.	Ugięcia od obciążeń ruchomych	353
14.5.2.	Podniesienie wykonawcze (konstrukcyjne)	354
14.5.3.	Ograniczenie szerokości rys w betonie	355
14.6.	Stany graniczne nośności	357
14.6.1.	Założenia ogólne	357
14.6.2.	Nośność sprężysta przekrojów na zginanie	358
14.6.3.	Nośność sprężysta przekrojów na ścinanie pionowe	359
14.6.4.	Nośność sprężysta przekrojów na zginanie i ścinanie pionowe	360
14.6.5.	Nośność belki nad podporą	361
14.6.6.	Wytrzymałość zmęczeniowa spawanych połączeń belek	363
Literatura	364