

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 użytkowości 33
 - 2.4. Układy oddziaływań w ujęciu PN-EN 35
 - 2.4.1. Zasady ustalania kombinacji obciążeń 35
 - 2.4.2. Kombinacja obciążeń 36
 - 2.5. Oddziaływania 45
 - 2.5.1. Rodzaje oddziaływań 45
 - 2.5.2. Obciążenia stałe 46
 - 2.5.3. Obciążenia ruchome 46
 - 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
 - 3.4. 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
 - 4.2. Sprawdzanie stanów granicznych nośności (SGN) 99
 - 4.3. Nośność przekroju poprzecznego 100
 - 4.4. Sprawdzanie stanów granicznych użytkowości (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_i i N_i na płytę i belkę stalową	120
5.4.4. Rozkład sztywności przekroju na skutek zarysowania	121
5.5. Sztywność na skręcanie dźwigarów skrzynkowych	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
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
8.1.3. Przekroje z płytą betonową rozciąganą	198
8.1.4. Przekroje z płytą sprężoną	200
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. Zwichrzenie (utrata płaskiej postaci zginania) 235
 - 9.1.1. Zasady ogólne 235
 - 9.1.2. Sprawdzenie na zwichrzenie 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 pętlami 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
11.6.4. 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