

Spis treści

Słowo od autorów	11
Wykaz oznaczeń	15
1. Wprowadzenie	23
1.1. Istota sprężenia	23
1.2. Zarys historii	24
1.3. Klasyfikacja konstrukcji sprężonych	26
1.4. Porównanie konstrukcji sprężonych z żelbetowymi	28
2. Materiały w konstrukcjach sprężonych	31
2.1. Beton	31
2.1.1. Uwagi ogólne	31
2.1.2. Wymagane cechy betonu	32
2.1.3. Klasyfikacja technologiczna betonów	34
2.1.4. Składniki betonów	35
2.1.4.1. Cementy	35
2.1.4.2. Kruszywa	36
2.1.4.3. Woda do betonu	37
2.1.4.4. Dodatki mineralne i domieszki chemiczne	37
2.1.5. Wykonywanie betonów wysokich klas	38
2.1.6. Wytrzymałość betonu	41
2.1.6.1. Wytrzymałość na ściskanie	42
2.1.6.2. Wytrzymałość trwała	42
2.1.6.3. Wytrzymałość zmęczeniowa	43
2.1.6.4. Wytrzymałość uderzeniowa	44
2.1.6.5. Wytrzymałość w złożonym stanie obciążenia	44
2.1.6.6. Wytrzymałość na rozciąganie	44
2.1.6.7. Przyrost wytrzymałości w czasie	46
2.1.7. Odształcalność betonu	47
2.1.7.1. Odształcenia doraźne	47
2.1.7.2. Odształcenia pełzania	53
2.1.7.3. Odształcenia skurczu	56
2.1.8. Inne cechy betonu	58
2.1.9. Zalecenia norm projektowania	62
2.1.10. Betony nowej generacji	64
2.1.10.1. Próba współczesnej klasyfikacji betonów	64
2.1.10.2. Technologia i badania BUWW	66
2.1.10.3. Betony ultra-wysokowartościowe (BUWW)	68
2.1.11. Ograniczenia naprężeń w betonie	72
2.2. Stal	74
2.2.1. Wymagane cechy stali sprężających	74
2.2.2. Rodzaje stali do sprężania	76
2.2.3. Wytrzymałość i odształcalność stali sprężających	79
2.2.4. Charakterystyka geometryczna cięgien stalowych	89
2.2.5. Zalecenia norm projektowania	90
2.3. Materiały do cięgien niemetalicznych	91
3. Technologia sprężania	95
3.1. Technologia strunobetonu	95
3.1.1. Warianty	95
3.1.2. Metoda torów naciągowych	97
3.1.3. Metoda sztywnych form	100
3.1.4. Naciąg i kotwienie cięgien	100

3.2. Technologia kablobetonu	102
3.2.1. Ogólne zasady	102
3.2.2. Systemy sprężania	103
3.2.2.1. Systemy kabli wielodrutowych	104
3.2.2.2. Systemy kabli ze splotów	114
3.2.2.3. Kable linowe	121
3.2.2.4. Kable prętowe	123
3.2.2.5. Zakotwienia wgłębne	127
3.2.2.6. Systemy specjalne	128
3.2.3. Urządzenia naciągowe	133
3.2.4. Formowanie kanałów i układanie cięgien	138
3.2.5. Formowanie kabli	140
3.2.6. Zabieg sprężania	142
3.2.7. Iniekcja kanałów kablowych	144
3.2.8. Łączenie kabli	147
3.2.9. Systemy kabli niemetalicznych	150
3.2.10. Kable kotwione w gruncie	153
3.3. Sprężanie obwodowe	154
3.3.1. Sprężanie rur	154
3.3.2. Sprężanie zbiorników walcowych	157
3.3.2.1. Sprężanie przez nawijanie	158
3.3.2.2. Sprężanie odcinkowe	162
3.3.2.3. Inne sposoby sprężania zbiorników	166
3.4. Specjalne metody sprężania	168
3.4.1. Ekspansja betonu	168
3.4.2. Sprężanie prasami płaskimi i klinami	169
3.4.3. Sprężanie termiczne	171
3.4.4. Wygięcie zbrojenia sztywnego	172
3.4.5. Sprężenie przez poprzeczne przemieszczenie cięgien	173
3.4.6. Sprężenie ciężarem własnym lub balastem	174
3.5. Bezpieczeństwo pracy przy sprężaniu	176
3.5.1. Zasady bezpiecznego sprężania	176
3.5.2. Kontrola i konserwacja urządzeń	177
3.5.3. Wytyczne kontroli przy naciągu kabli	178
4. Straty sprężenia	181
4.1. Przyczyny i klasyfikacja strat	181
4.2. Straty od oporów ruchu	184
4.2.1. Opory w urządzeniach naciągowych	184
4.2.2. Tarcie w zakotwieniach i uchwytach	184
4.2.3. Tarcie w kanale kablowym	185
4.3. Straty technologiczne w strunobetonie	191
4.3.1. Poślizg w uchwytach technologicznych	191
4.3.2. Częściowa relaksacja cięgien	191
4.3.3. Wpływ różnic temperatury	192
4.4. Straty doraźne (ΔP_i)	192
4.4.1. Poślizg w zakotwieniach	192
4.4.2. Odształcenia sprężyste betonu	195
4.5. Straty opóźnione (ΔP_l)	196
4.5.1. Relaksacja stali	196
4.5.2. Skurcz i pęcznienie betonu	197
4.5.3. Odształcenia styków	199
4.5.4. Wstępne oszacowanie strat	200

4.6. Zasady programowania naciągu	201
4.7. Sprawdzenie naprężeń wciąganych sprężających	203
4.8. Procedury sprawdzania strat i programowania naciągu	204
4.8.1. Sprawdzenie strat w kablobetonie	204
4.8.2. Sprawdzenie strat w strunobetonie	207
5. Bezpieczeństwo konstrukcji sprężonych	211
5.1. Cechy niezawodnej konstrukcji	212
5.2. Formacje bezpieczeństwa	213
5.3. Metoda częściowych współczynników bezpieczeństwa	215
5.3.1. Wartości charakterystyczne	215
5.3.2. Wartości obliczeniowe	218
5.3.3. Kombinacje obciążeń	219
5.3.4. Warunki bezpieczeństwa	221
5.4. Metoda naprężeń dopuszczalnych	222
5.5. Stany graniczne konstrukcji sprężonej	223
5.5.1. Siły sprężające	225
5.5.2. Stany graniczne naprężeń	226
5.5.3. Kategorie rysoodporności	226
5.5.4. Sytuacja obliczeniowa przejściowa	228
5.5.4.1. Stan graniczny wyboczenia	228
5.5.4.2. Stan graniczny ugięcia	229
5.5.4.3. Stan graniczny zarysowania	230
5.5.4.4. Stan graniczny złamania	232
5.5.5. Sytuacja obliczeniowa trwała	232
5.5.5.1. Stan graniczny wyboczenia	232
5.5.5.2. Stan graniczny ugięcia	234
5.5.5.3. Stan graniczny pojawienia się rys	236
5.5.5.4. Stan graniczny rozwarcia rysy	238
5.5.5.5. Stan graniczny złamania	239
5.5.5.6. Stan graniczny ścinania	242
5.6. Zalecenia praktyczne	245
6. Projektowanie belek kablobetonowych	247
6.1. Dobór przekroju poprzecznego	247
6.2. Przekrój obliczeniowy	250
6.3. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	251
6.3.1. Przypadek podstawowy	252
6.3.2. Przekrój obciążony momentem ujemnym	256
6.3.3. Przekrój zciągami w strefie ściskanej	261
6.3.4. Dobór cięgien do zadanego przekroju	267
6.4. Trasowanie cięgien	274
6.4.1. Ukształtowanie profilu podłużnego	276
6.4.2. Obwód graniczny	278
6.5. Strefa podporowa	282
6.5.1. Ukształtowanie bloku podporowego	282
6.5.2. Wymiarowanie strzemion	283
6.6. Strefa zakotwień	285
6.6.1. Zbrojenie strefy docisku	286
6.6.2. Metoda analizy sprężystej	287
6.6.2.1. Naprężenia rozciągające wgłębne	287
6.6.2.2. Naprężenia rozciągające przyczołowe	289
6.6.2.3. Naprężenia rozciągające narożne	290
6.6.3. Konstrukcja zbrojenia	291

6.7. Belka ciągła	293
6.7.1. Statyczny efekt sprężenia	293
6.7.2. Trasa współbieżna	295
6.7.3. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	296
6.7.4. Przeguby plastyczne	297
6.8. Uprozczone projektowanie belek kablobetonowych	300
7. Projektowanie belek strunobetonowych	301
7.1. Ukształtowanie przekroju poprzecznego	302
7.2. Przekrój obliczeniowy	303
7.3. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	304
7.3.1. Przypadek ogólny	304
7.3.2. Dobór cięgien do zadanego przekroju	306
7.4. Trasowanie cięgien	317
7.4.1. Ukształtowanie profilu podłużnego	317
7.4.2. Cięgna wyłączane	318
7.4.3. Cięgna odginane	319
7.5. Strefa podporowa	322
7.5.1. Ukształtowanie bloku podporowego	322
7.5.2. Wymiarowanie strzemion	322
7.6. Strefa zakotwień	324
7.6.1. Długość zakotwienia	324
7.6.2. Naprężenia rozciągające przyczółowe	326
8. Projektowanie elementów rozciąganych	327
8.1. Ukształtowanie przekroju poprzecznego	327
8.2. Warunki bezpieczeństwa	328
8.3. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	329
8.3.1. Sprężenie jednoetapowe	330
8.3.2. Sprężenie dwuetapowe	334
8.4. Zalecenia praktyczne	334
9. Projektowanie elementów ściskanych	335
9.1. Ukształtowanie konstrukcyjne	336
9.2. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	338
10. Projektowanie belek zespolonych	343
10.1. Zasady zespolenia	345
10.2. Obliczeniowy przekrój zespolony	347
10.3. Stany graniczne belki zespolonej	348
10.3.1. Stan graniczny ugięcia	348
10.3.2. Stan graniczny pojawienia się rys	349
10.3.3. Stan graniczny złamania	350
10.3.4. Stan graniczny ścinania	351
10.3.5. Stan graniczny rozwarstwienia	353
10.3.6. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	355
11. Sprężanie cięgnami bez przyczepności	359
11.1. Kategorie cięgien bez przyczepności	360
11.1.1. Grupa pierwsza	360
11.1.2. Grupa druga	360
11.1.3. Grupa trzecia	361
11.1.4. Grupa czwarta	361

11.2. Specyfika konstrukcji sprężonych bez przyczepności	361
11.3. Wyniki badań doświadczalnych	362
11.4. Straty sprężenia	364
11.4.1. Straty tarcia na długości ciągną	364
11.4.2. Straty od poślizgu w zakotwieniach	365
11.5. Ciągna wewnętrzne	365
11.5.1. Stan graniczny ugięcia	365
11.5.2. Rozstaw rys	366
11.5.3. Szerokość rozwarcia rys	366
11.5.4. Stan graniczny złamania	366
11.5.5. Stan graniczny ścinania	367
11.6. Ciągna zewnętrzne	368
11.7. Zalecenia praktyczne	370
12. Trwałość konstrukcji sprężonych	373
12.1. Uwagi ogólne o trwałości	373
12.2. Korozja stali sprężającej	374
12.3. Korozja betonu	375
12.4. Oddziaływanie środowiska i środki zabezpieczające	376
12.5. Ognioodporność	379
12.6. Odporność zmęczeniowa	380
12.7. Nowoczesna ochrona kabli wewnętrznych i kotew gruntowych	381
12.8. Zabezpieczenia kabli zewnętrznych	383
13. Diagnostyka konstrukcji sprężonych	389
13.1. Cele diagnostyki konstrukcji	389
13.2. Ogólne zasady diagnostyki konstrukcji sprężonych	392
13.3. Kontrola eksploatacyjna konstrukcji sprężonych	394
13.4. Wybrane procedury diagnostyczne	395
13.4.1. Dachowe dźwigary kablobetonowe	396
13.4.2. Kablobetonowe belki podsuwnicowe	399
13.5. Perspektywy diagnostyki konstrukcji sprężonych	401
14. Przykłady projektowania	403
14.1. Przykład projektowania belki kablobetonowej	403
14.2. Przykład projektowania elementu strunobetonowego	418
14.3. Przykład projektowania strunobetonowej płyty kanałowej	428
14.4. Przykład projektowania belki zespolonej	435
14.5. Przykład projektowania mimośrodowo ściskanego elementu strunobetonowego	449
15. Przykłady zastosowań konstrukcji sprężonych	457
15.1. Konstrukcje przekryć dachowych	457
15.1.1. Płyty i elementy płytowo-żebrowe	457
15.1.2. Belki strunobetonowe	461
15.1.3. Dźwigary kablobetonowe	464
15.1.4. Przekrycia powłokowe	466
15.2. Stropy prefabrykowane	469
15.3. Stropy monolityczne	473
15.4. Budynki miejskie	477
15.5. Wielokondygnacyjne budynki przemysłowe	486

15.6. Obiekty kołowe	487
15.6.1. Zbiorniki	487
15.6.2. Obudowy reaktorów jądrowych	494
15.7. Mosty i wiadukty	496
15.7.1. Systematyka mostów sprężonych	496
15.7.2. Mosty płytowe	497
15.7.3. Prefabrykowane mosty belkowe	500
15.7.4. Monolityczne mosty belkowe, ramowe i łukowe	512
15.7.5. Mosty wiszące	524
15.7.6. Główne tendencje rozwoju mostów sprężonych	534
15.8. Obiekty inżynieryjne i specjalne	535
15.8.1. Budownictwo podziemne	535
15.8.2. Kotwienie i stabilizacja obiektów	538
15.8.3. Zapory wodne	545
15.8.4. Morskie platformy wydobywcze	546
15.8.5. Obiekty wieżowe i maszty	549
15.8.6. Obiekty sportowe	551
15.8.7. Fundamenty i nawierzchnie sprężone	554
15.9. Masowa prefabrykacja	556
15.10. Rozwój zastosowań konstrukcji sprężonych	561
Literatura	563
Książki i podręczniki	563
Materiały konferencyjne	565
Artykuły	568
Normy krajowe	568
Zalecenia międzynarodowe i normy zagraniczne	569
Zalecenia krajowe	570
Prospekty informacyjne producentów i wykonawców	570
Podziękowania	573
Acknowledgments	573
Skorowidz	583