

SPIS TREŚCI

OD AUTORÓW	11
WYKAZ OZNACZEŃ	15
1. WPROWADZENIE	23
1.1. Istota i definicja sprężenia	23
1.2. Zarys historii	24
1.3. Systematyka konstrukcji sprężonych	26
1.4. Porównanie konstrukcji sprężonych z żelbetowymi	28
2. WYMAGANIA MATERIAŁOWE	31
2.1. Beton	31
2.1.1. Uwagi ogólne	31
2.1.2. Wymagane cechy betonu	32
2.1.3. Systematyka technologiczna betonów	34
2.1.4. Składniki betonów	35
2.1.4.1. Cementy	36
2.1.4.2. Kruszywa	37
2.1.4.3. Woda do betonu	38
2.1.4.4. Dodatki mineralne i domieszki chemiczne	38
2.1.5. Wykonywanie betonów wysokich klas	39
2.1.6. Wytrzymałość betonu	42
2.1.6.1. Wytrzymałość na ściskanie	43
2.1.6.2. Wytrzymałość trwała	44
2.1.6.3. Wytrzymałość zmęczeniowa	44
2.1.6.4. Wytrzymałość uderowa	45
2.1.6.5. Wytrzymałość w złożonym stanie obciążenia	46
2.1.6.6. Wytrzymałość na rozciąganie	47
2.1.6.7. Przyrost wytrzymałości w czasie	48
2.1.7. Odkształcalność betonu	48
2.1.7.1. Odkształcenia doraźne	49
2.1.7.2. Odkształcenia pełzania	53
2.1.7.3. Odkształcenia skurczu	57
2.1.8. Inne cechy betonu	59
2.1.9. Zalecenia norm projektowania	63
2.1.10. Betony nowej generacji	65
2.1.10.1. Próba współczesnej klasyfikacji betonów	65
2.1.10.2. Technologia i badania BWW	67
2.1.10.3. Betony ultrawysokowartościowe (BUWW)	69
2.1.11. Ograniczenia naprężeń w betonie	73

2.2. Stal	75
2.2.1. Wymagane cechy stali sprężających	75
2.2.2. Rodzaje stali do sprężania	76
2.2.3. Wytrzymałość i odkształcalność stali sprężających	79
2.2.4. Charakterystyka geometryczna cięgien stalowych	89
2.2.5. Zalecenia norm projektowania	90
2.3. Materiały do cięgien niemetalicznych	92
3. TECHNOLOGIA SPRĘŻANIA	95
3.1. Strunobeton	95
3.1.1. Technologia i jej odmiany	95
3.1.2. Metoda torów naciągowych	97
3.1.3. Metoda sztywnych form	101
3.2. Kablobeton	103
3.2.1. Zasady i warianty technologiczne	103
3.2.2. Systemy sprężania	104
3.2.2.1. Systemy kabli wielodrutowych	109
3.2.2.2. Systemy kabli ze splotów	114
3.2.2.3. Kable linowe	120
3.2.2.4. Kable prętowe	122
3.2.2.5. Zakotwienia wgłębne	128
3.2.3. Zestawy naciągowe	128
3.2.4. Formowanie kanałów i układanie cięgien	133
3.2.5. Formowanie kabli	135
3.2.6. Przebieg sprężania	137
3.2.7. Iniekcja kanałów kablowych	139
3.2.8. Łączenie kabli	143
3.2.9. Systemy kabli niemetalicznych	145
3.2.10. Kable kotwione w gruncie	147
3.3. Sprężanie obwodowe	149
3.3.1. Sprężanie rur	149
3.3.2. Sprężanie zbiorników walcowych	151
3.3.2.1. Sprężanie przez nawijanie	152
3.3.2.2. Sprężanie odcinkowe	154
3.3.2.3. Inne sposoby sprężania zbiorników	157
3.4. Specjalne metody sprężania	158
3.4.1. Ekspansja betonu	158
3.4.2. Sprężanie prasami płaskimi i klinami	161
3.4.3. Sprężanie termiczne	163
3.4.4. Wygięcie zbrojenia sztywnego	164
3.4.5. Sprężenie przez poprzeczne przemieszczenie cięgien	165
3.4.6. Sprężenie ciężarem własnym lub balastem	166
3.5. Bezpieczeństwo pracy przy sprężaniu	167
3.5.1. Zasady bezpiecznego sprężania	167
3.5.2. Kontrola i konserwacja urządzeń	169
3.5.3. Wytyczne kontroli przy naciągu kabli	169
4. STRATY SPRĘŻENIA	172
4.1. Ogólna charakterystyka strat	172
4.2. Straty przed kotwieniem - od oporów ruchu	175

4.2.1. Opory wewnętrzne w urządzeniach naciagowych	175
4.2.2. Tarcie w zakotwieniu i uchwytach	175
4.2.3. Tarcie w kanale kablowym	175
4.3. Straty technologiczne w strunobetonie	180
4.3.1. Poślizg w uchwytach technologicznych	180
4.3.2. Częściowa relaksacja cięgien	181
4.3.3. Wpływ różnic temperatury	181
4.4. Straty doraźne (ΔP_i)	182
4.4.1. Poślizg w zakotwieniach	182
4.4.2. Odkształcenia sprężyste betonu	185
4.5. Straty opóźnione (ΔP_l)	187
4.5.1. Relaksacja stali	187
4.5.2. Skurcz i pełzanie betonu	188
4.5.3. Odkształcenia styków	190
4.5.4. Wstępne oszacowanie strat	190
4.6. Zasady programowania naciagu	191
4.7. Sprawdzenie naprężeń w ciągnach sprężających	193
4.8. Procedury sprawdzania strat i programowania naciagu	198
4.8.1. Sprawdzenie strat w kablobetonie	199
4.8.2. Sprawdzenie strat w strunobetonie	199

Procedury projektowania:

Tablica 4-1. Sprawdzenie strat i programowanie naciagu w kablobetonowym elemencie zginanym.

Tablica 4-2. Sprawdzenie strat i programowanie naciagu w strunobetonowym elemencie zginanym prostoliniowymi ciągnami

5. BEZPIECZEŃSTWO KONSTRUKCJI SPRĘŻONYCH	200
5.1. Cechy bezpiecznej konstrukcji	201
5.2. Formacje bezpieczeństwa	202
5.3. Metoda częściowych współczynników bezpieczeństwa	204
5.3.1. Wartości charakterystyczne	205
5.3.2. Wartości obliczeniowe	207
5.3.3. Kombinacje obciążeń	209
5.3.4. Warunki bezpieczeństwa	210
5.4. Metoda naprężeń dopuszczalnych	212
5.5. Stany graniczne konstrukcji sprężonej	213
5.5.1. Siły sprężające	214
5.5.2. Stany graniczne naprężeń	215
5.5.3. Kategorie rysoodporności	216
5.5.4. Stadia realizacji	218
5.5.4.1. Stan graniczny wyboczenia	218
5.5.4.2. Stan graniczny ugięcia	219
5.5.4.3. Stan graniczny zarysowania	221
5.5.4.4. Stan graniczny złamania	222
5.5.5. Stadia eksploatacji	223
5.5.5.1. Stan graniczny wyboczenia	223
5.5.5.2. Stan graniczny ugięcia	225
5.5.5.3. Stan graniczny pojawienia się rys	226
5.5.5.4. Stan graniczny rozwarcia rysy	228
5.5.5.5. Stan graniczny złamania	231
5.5.5.6. Stan graniczny ścinania	234
5.6. Zalecenia praktyczne	237

6. PROJEKTOWANIE BELEK KABLOBETONOWYCH	238
6.1. Ukształtowanie przekroju poprzecznego	238
6.2. Przekrój obliczeniowy	242
6.3. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	243
6.3.1. Przypadek podstawowy	244
6.3.2. Przekrój obciążony momentem ujemnym	252
6.3.3. Przekrój z ciągnami w strefie ściskanej	259
6.3.4. Dobór cięgien do zadanego przekroju	268
6.4. Trasowanie cięgien	270
6.4.1. Ukształtowanie profilu podłużnego	272
6.4.2. Obwiednie graniczne	273
6.5. Strefa podporowa	278
6.5.1. Ukształtowanie bloku podporowego	278
6.5.2. Wymiarowanie strzemion	278
6.6. Strefa zakotwień	281
6.6.1. Zbrojenie strefy docisku	282
6.6.2. Metoda analizy sprężystej	283
6.6.2.1. Naprężenia rozciągające wgłębne	284
6.6.2.2. Naprężenia rozciągające przyczołowe	286
6.6.2.3. Naprężenia rozciągające narożne	287
6.6.3. Konstrukcja zbrojenia	288
6.7. Belka ciągła	290
6.7.1. Statyczny efekt sprężenia	290
6.7.2. Trasa współbieżna	292
6.7.3. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	293
6.7.4. Przeguby plastyczne	296
Procedury projektowania:	
Tablica 6-2. Procedura wymiarowania przekroju kablobetonowego Przypadek podstawowy – pełne sprężenie	
Tablica 6-3. Procedura wymiarowania przekroju kablobetonowego Przypadek podstawowy – częściowe sprężenie	
Tablica 6-4. Procedura wymiarowania przekroju kablobetonowego Przekrój obciążony momentem ujemnym – pełne sprężenie	
Tablica 6-5. Procedura wymiarowania przekroju kablobetonowego Przekrój obciążony momentem ujemnym – częściowe sprężenie	
Tablica 6-6. Procedura wymiarowania przekroju kablobetonowego Przekrój z ciągnami w strefie ściskanej – pełne sprężenie	
Tablica 6-7. Procedura wymiarowania przekroju kablobetonowego Przekrój z ciągnami w strefie ściskanej – częściowe sprężenie	
Tablica 6-8. Procedura wymiarowania przekroju kablobetonowego Dobór cięgien dla zadanego przekroju betonowego – pełne sprężenie	
Tablica 6-9. Procedura trasowania cięgna wypadkowego w belce prostej o stałym przekroju	
Tablica 6-11. Procedura projektowania strzemion w belce kablobetonowej	
Tablica 6-13. Procedura wymiarowania zbrojenia strefy zakotwień	
Tablica 6-14. Procedura wymiarowania kablobetonowej belki ciągłej Przekrój poprzeczny stały, siła sprężająca stała, pełne sprężenie	
7. PROJEKTOWANIE BELEK STRUNOBETONOWYCH	298
7.1. Ukształtowanie przekroju poprzecznego	299
7.2. Przekrój obliczeniowy	300
7.3. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	301
7.3.1. Przypadek ogólny	301
7.3.2. Dobór cięgien do zadanego przekroju	306

7.4. Trasowanie cięgien	315
7.4.1. Ukształtowanie profilu podłużnego	315
7.4.2. Cięgna wyłączane	316
7.4.3. Cięgna odginane	317
7.5. Strefa podporowa	320
7.5.1. Ukształtowanie bloku podporowego	320
7.5.2. Wymiarowanie strzemion	321
7.6. Strefa zakotwień	323
7.6.1. Długość zakotwienia	323
7.6.2. Naprężenia rozciągające przyczółowe	325
Procedury projektowania:	
Tablica 7-1. Procedura wymiarowania przekroju strunobetonowego. Przypadek ogólny – pełne sprężenie	
Tablica 7-2. Procedura wymiarowania przekroju strunobetonowego. Przypadek ogólny – częściowe sprężenie	
Tablica 7-3. Procedura wymiarowania przekroju strunobetonowego. Dobór cięgien do zadanego przekroju betonowego – pełne sprężenie	
Tablica 7-4. Procedura wyłączania cięgien w belce strunobetonowej	
Tablica 7-5. Procedura odginania splotów w belce strunobetonowej	
Tablica 7-6. Procedura projektowania strzemion w belce strunobetonowej	
8. PROJEKTOWANIE ELEMENTÓW ROZCIĄGANYCH	326
8.1. Ukształtowanie przekroju poprzecznego	326
8.2. Warunki bezpieczeństwa	327
8.3. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	329
8.3.1. Sprężenie jednoetapowe	329
8.3.2. Sprężenie dwuetapowe	330
8.4. Zalecenia praktyczne	334
Procedury projektowania:	
Tablica 8-1. Procedura wymiarowania elementu osiowo rozciąganego – Jednoetapowe pełne sprężenie	
Tablica 8-2. Procedura wymiarowania elementu osiowo rozciąganego – Jednoetapowe częściowe sprężenie	
Tablica 8-3. Procedura wymiarowania elementu osiowo rozciąganego – Dwuetapowe pełne sprężenie	
9. PROJEKTOWANIE BELEK ZESPOLONYCH	336
9.1. Istota zespolenia	337
9.2. Obliczeniowy przekrój zespolony	339
9.3. Stany graniczne belki zespolonej	341
9.3.1. Stan graniczny ugięcia	341
9.3.2. Stan graniczny pojawienia się rys	341
9.3.3. Stan graniczny złamania	342
9.3.4. Stan graniczny ścinania	343
9.3.5. Stan graniczny rozwarstwienia	345
9.3.6. Wymiarowanie przekroju poprzecznego	347
Procedura projektowania:	
Tablica 9-1. Procedura wymiarowania kablobetonowego przekroju zespolonego Przypadek podstawowy – pełne sprężenie	
10. SPRĘŻANIE CIĘGNIAMI BEZ PRZYCZEPNOŚCI	351
10.1. Kategorie cięgien bez przyczepności	352
10.1.1. Grupa pierwsza	352

10.1.2. Grupa druga	353
10.1.3. Grupa trzecia	353
10.1.4. Grupa czwarta	353
10.2. Specyfika konstrukcji sprężonych bez przyczepności	354
10.3. Wyniki badań doświadczalnych	355
10.4. Straty sprężenia	356
10.4.1. Straty tarcia na długości cięgna	356
10.4.2. Straty od poślizgu w zakotwieniach	357
10.5. Cięgna wewnętrzne	357
10.5.1. Stan graniczny ugięcia	358
10.5.2. Rozstaw rys	358
10.5.3. Szerokość rozwarcia rys	359
10.5.4. Stan graniczny złamania	359
10.5.5. Stan graniczny ścinania	360
10.6. Cięgna zewnętrzne	361
10.7. Zalecenia praktyczne	363
11. TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI SPRĘŻONYCH	366
11.1. Korozja stali sprężającej	367
11.2. Korozja betonu	368
11.3. Agresywność środowiska i środki zabezpieczające	369
11.4. Ognioodporność	370
11.5. Odporność zmęczeniowa	371
11.6. Kontrola eksploatacyjna konstrukcji sprężonych	371
11.7. Nowa generacja ochrony kabli wewnętrznych i kotew gruntowych	372
11.8. Zabezpieczenia kabli zewnętrznych	374
12. PRZYKŁADY REALIZACJI KONSTRUKCJI SPRĘŻONYCH	376
12.1. Konstrukcje przekryć dachowych	376
12.1.1. Elementy dachowe	377
12.1.2. Belki strunobetonowe	380
12.1.3. Dachowe dźwigary kablobetonowe	383
12.1.4. Przekrycia powierzchniowe	386
12.2. Stropy prefabrykowane	387
12.3. Stropy monolityczne	391
12.4. Budynki miejskie	394
12.5. Wielokondygnacyjne budynki przemysłowe	401
12.6. Obiekty kołowo-symetryczne	403
12.6.1. Zbiorniki kołowe	403
12.6.2. Obudowy reaktorów jądrowych	409
12.7. Mosty i wiadukty	411
12.7.1. Ogólna charakterystyka mostów sprężonych	411
12.7.2. Mosty płytowe	412
12.7.3. Prefabrykowane mosty belkowe i kratowe	415
12.7.4. Monolityczne mosty belkowe, ramowe i łukowe	425
12.7.5. Mosty wiszące	433
12.8. Duże obiekty inżynieryjne i specjalne	439
12.8.1. Budownictwo podziemne	439
12.8.2. Kotwienie obiektów	441
12.8.3. Zapory wodne	445

12.8.4. Morskie platformy wydobywcze	447
12.8.5. Obiekty wieżowe	449
12.8.6. Obiekty sportowe	450
12.8.7. Nawierzchnie sprężone	453
12.9. Masowa prefabrykacja	455
12.10. Kierunki rozwoju zastosowań	459
13. PRZYKŁADY PROJEKTOWANIA	461
13.1. Przykład projektowania belki kablobetonowej	462
13.2. Przykład projektowania elementu strunobetonowego.....	478
13.3. Przykład projektowania belki zespolonej	486
LITERATURA	502