

Podstawowe oznaczenia	13
Spis najważniejszych tablic	21
Rozdział 1. Wstęp	23
Rozdział 2. Ogólna charakterystyka konstrukcji sprężonych	27
2.1. Podstawowa idea i definicja konstrukcji sprężonych	27
2.2. Wpływ sprężenia na nośność graniczną i naprężenia w elementach z betonu	30
2.2.1. Redukcja naprężeń wywołanych obciążeniem i sprężeniem w elementach zginanych	30
2.2.2. Redukcja naprężeń wywołanych obciążeniem i sprężeniem w elementach rozciąganych	33
2.2.3. Moment rysujący i siła rysująca	35
2.2.4. Terminologia i klasyfikacje dotyczące konstrukcji sprężonych	37
2.2.5. Właściwości konstrukcji sprężonych w porównaniu z żelbetowymi	39
2.3. Zarys historii konstrukcji sprężonych	42
2.4. Podstawy projektowania i niezawodność konstrukcji	47
2.4.1. Uwagi wstępne, zastosowanie teorii niezawodności	47
2.4.2. Metoda częściowych współczynników	50
2.4.3. Trwałość	52
2.4.4. Wymagania dotyczące otulenia betonem i rozmieszczenia cięgien sprężających	54
2.4.5. Zasady konstruowania	56
2.5. Odporność na pożar	58
2.5.1. Ogólne informacje o projektowaniu ze względu na pożar i metoda tabelaryczna	58
2.5.2. Stosowanie metody częściowych współczynników do sprawdzania kryterium R	61
2.5.3. Specjalne przepisy dotyczące betonu o wysokiej wytrzymałości	63
Rozdział 3. Beton w konstrukcjach sprężonych	65
3.1. Uwagi wstępne	65
3.2. Właściwości betonu przy obciążeniu krótkotrwałym	67
3.2.1. Charakterystyczne i obliczeniowe wartości wytrzymałości na ściskanie	67
3.2.2. Wytrzymałość na rozciąganie, współczynnik Poissona, rozszerzalność termiczna, wytrzymałość w dwu i trójosiowych stanach naprężenia	70
3.2.3. Moduł sprężystości i zależności naprężenie-odkształcenie	72
3.3. Właściwości betonu w zależności od czasu	77
3.3.1. Miarodajny wymiar przekroju	77
3.3.2. Zmodyfikowany wiek betonu	78
3.3.3. Wytrzymałość i moduł sprężystości w zależności od wieku betonu	80
3.3.4. Skurcz betonu	81
3.3.5. Pełzanie betonu	86
3.3.6. Obliczanie współczynnika pełzania	91
3.3.7. Wyznaczanie współczynnika $\phi(\infty, t_0)$ metodą dwóch wykresów	93
3.3.8. Pełzanie przy naprężeniach skokowo zmiennych	95
3.4. Przykład obliczenia zmodyfikowanego wieku betonu i współczynnika pełzania	98
3.5. Betony o wytrzymałości większej niż w normie [N1]	100
Rozdział 4. Stal sprężająca	105
4.1. Rodzaje i podstawowe właściwości stali sprężającej	105
4.2. Wymagania norm	110

4.3.	Relaksacja stali sprężającej	114
4.4.	Przykład obliczenia relaksacji	116
4.5.	Naprężenia graniczne	117
Rozdział 5.	Metody realizacji sprężenia	119
5.1.	Kotwienie cięgien i kabli	119
5.2.	Strunobeton	122
5.3.	Kablobeton	125
5.3.1.	Ogólne informacje o kablobetonie	125
5.3.2.	System C Freyssineta jako przykład systemu sprężania	129
5.3.3.	Wybrane starsze systemy sprężania	132
5.4.	Zastosowanie kompozytów FRP do sprężania konstrukcji	135
Rozdział 6.	Siły przekrojowe i naprężenia wywoływane sprężeniem	141
6.1.	Oddziaływanie sprężenia na konstrukcję	141
6.1.1.	Ogólna zasada wyznaczania oddziaływań	141
6.1.2.	Przekazywanie sił sprężających przez zakotwienia i przez p	142
6.2.	Siły przekrojowe i naprężenia w elementach statycznie wyznaczalnych	144
6.2.1.	Uwagi ogólne	144
6.2.2.	Cięgna proste	144
6.2.3.	Cięgna zakrzywione i załamane	145
6.3.	Ogólne informacje o sprężeniu konstrukcji hiperstatycznych	146
6.3.1.	Przykłady oddziaływania sprężenia na konstrukcje hiperstatyczne	146
6.3.2.	Polskie normy o sprężaniu konstrukcji hiperstatycznych	150
6.4.	Obliczanie sił przekrojowych i naprężeń – podsumowanie	152
6.4.1.	Podstawowe zasady	152
6.4.2.	Obliczanie naprężeń w elementach prętowych	153
6.5.	Poprzeczne oddziaływanie zakrzywionych kabli w płytach i belkach	156
6.5.1.	Uwagi ogólne	156
6.5.2.	Trasa paraboliczna w belce swobodnie podpartej	158
6.5.3.	Symetryczna trasa kabli w płytach ciągłych	161
6.5.4.	Trasa kabli w skrajnym prześle płyty wieloprzęsłowej	163
6.5.5.	Trasa zakrzywiona zakończona odcinkami prostymi	167
6.6.	Środek ciśnienia, obwiednie graniczne, trasowanie kabli	168
6.6.1.	Środek i linia ciśnienia	168
6.6.2.	Trasowanie kabli w belkach, obwiednie graniczne, rdzeń uogólniony	169
6.6.3.	Przykład wyznaczania rdzenia uogólnionego i obwiedni granicznych	172
6.6.4.	Uwagi o trasowaniu kabli w belkach ciągłych	176
Rozdział 7.	Straty sprężenia	179
7.1.	Rodzaje strat sprężenia	179
7.2.	Straty wywołane obróbką cieplną betonu	180
7.3.	Straty spowodowane odkształceniem sprężystym betonu	181
7.4.	Relaksacja stali sprężającej jako przyczyna strat sprężenia	184
7.5.	Przykład obliczenia strat od relaksacji stali	186
7.6.	Tarcie kabli o ścianki kanałów	187
7.7.	Straty w zakotwieniu	190
7.8.	Przykład obliczenia strat wywołanych tarciami i poślizgiem w zakotwieniach – kable proste	195
7.9.	Przykład obliczenia strat wywołanych tarciami i poślizgiem w zakotwieniach – kable zakrzywione	197
7.10.	Straty opóźnione	199
Rozdział 8.	Wymagania dotyczące naprężeń w betonie, dekompresji, zarysowania i ugięć	205
8.1.	Zasady ogólne	205
8.2.	Naprężenia w sytuacji początkowej	206

8.3.	Ograniczenia naprężeń ściskających	207
8.4.	Ograniczenia naprężeń rozciągających	209
8.5.	Moment rysujący, siła rysująca i minimalne zbrojenie	211
8.6.	Graniczna szerokość rys i warunek dekompresji	213
8.7.	Graniczne ugięcia	215
8.8.	Niejawne wymagania implikowane przez metodę obliczeń	216
8.9.	Stosowanie wytrzymałości f_{ctm}, f_l w elementach zginanych	217
8.10.	Podsumowanie wymagań dotyczących naprężeń i zarysowania	218
8.11.	Ewolucja polskich norm projektowania konstrukcji sprężonych	221
8.12.	Uwagi o stosowaniu normy PN-B-03264:2002 [N5]	229
Rozdział 9.	Sprawdzanie szerokości rys, minimalnego zbrojenia, wymagania dekompresji i ugięć	231
9.1.	Naprężenia w zbrojeniu i szerokość rys	231
9.2.	Stosowanie programów komputerowych i arkuszy kalkulacyjnych	237
9.3.	Sprawdzanie szerokości rys i wymagań dotyczących minimalnego zbrojenia ze względu na zarysowanie	239
9.4.	Sprawdzanie wymagania dekompresji	240
9.5.	Obliczanie ugięć	241
9.6.	Przykład – szerokość rys przy zginaniu i przy osiowym rozciąganiu a z asada minimalnego zbrojenia	244
9.6.1.	Element osiowo rozciągany (rys. 9.7a)	246
9.6.2.	Element zginany (rys. 9.7b)	248
9.6.3.	Elementy zginane o różnych wysokościach (rys. 9.7c)	250
9.6.4.	Wnioski z przykładów	251
9.7.	Przykład obliczenia szerokości rys w zginanym elemencie strunobetonowym	252
Rozdział 10.	Nośność graniczna przekrojów sprężonych	259
10.1.	Zasady ogólne	259
10.2.	Nośność graniczna na zginanie w sytuacji trwałej	262
10.3.	Nośność graniczna w sytuacji początkowej	267
10.4.	Minimalne zbrojenie ze względu na nośność graniczną	270
10.5.	Przykład obliczenia momentu granicznego w sytuacji trwałej	271
10.6.	Przykład sprawdzenia nośności w sytuacji początkowej	275
10.7.	Obliczanie nośności przekrojów prostokątnych	276
10.8.	Zmęczenie	284
Rozdział 11.	Ścinanie i przebicie	291
11.1.	Uwagi ogólne	291
11.2.	Ścinanie na odcinkach, które mogą wymagać poprzecznego zbrojenia	295
11.3.	Ścinanie na niezarysowanych odcinkach przy podporach przegubowych	297
11.4.	Przebicie	302
Rozdział 12.	Strefa przypodporowa w strunobetonie	305
12.1.	Długość zakotwienia cięgien	305
12.2.	Sprawdzanie wymagań ze względu na ścinanie i zakotwienie cięgien	312
Rozdział 13.	Strefa zakotwień	313
13.1.	Strefa zakotwień w elementach kablobetonowych	313
13.2.	Strefa zakotwienia w strunobetonie	318
Rozdział 14.	Swobodnie podparte płyty, belki i dźwigary sprężone	321
14.1.	Prefabrykowane płyty sprężone	321
14.1.1.	Panwiowe i łupinowe płyty strunobetonowe	321
14.1.2.	Płyty kanałowe	322
14.1.3.	Płyty stropowe typu TT	334
14.2.	Belki strunobetonowe	336
14.3.	Dźwigary kablobetonowe	340
14.4.	Projektowanie przekroju poprzecznego elementów zginanych	341
14.4.1.	Ogólne zasady projektowania	341

	14.4.2. Umowne naprężenia graniczne i minimalny wskaźnik wytrzymałości przekroju	342
	14.4.3. Wyznaczanie siły sprężającej i mimośrodu	348
	Rozdział 15. Monolityczne stropy kablobetonowe	351
	15.1. Ogólne zasady projektowania stropów kablobetonowych	351
	15.2. Zastosowanie cięgien niezsolidaryzowanych do sprężania stropów	351
i	15.3. Nośność graniczna elementów zginanych z cięgnami niezsolidaryzowanym	356
	15.4. Naprężenia, straty sprężenia i stany graniczne użytkowości w elementach sprężonych cięgnami niezsolidaryzowanymi	362
	15.4.1. Naprężenia w przekrojach niezarysowanych	362
63	15.4.2. Naprężenia w przekrojach zarysowanych i szerokość rys	363
	15.4.3. Ugięcia	366
367	15.4.4. Straty siły sprężającej w kablach niezsolidaryzowanych	367
	15.4.5. Wymagania dotyczące naprężeń i zarysowania	369
0	15.5. Uwagi dotyczące projektowania sprężonych stropów płytowośłupowych	370
	Rozdział 16. Osowo sprężone słupy o przekroju prostokątnym	373
	16.1. Uwagi ogólne	373
	16.2. Nośność graniczna symetrycznych przekrojów prostokątnych	375
	16.3. Przykład	378
	Rozdział 17. Konstrukcje zespolone ze sprężonymi elementami prefabrykowanymi	383
	17.1. Idea zespolenia, przykłady, zasady konstruowania	383
	17.2. Ogólne wymagania dotyczące obliczeń	385
	17.3. Podstawy analizy stanów granicznych użytkowości	389
391	17.4. Odkształcenia i naprężenia w elemencie podstawowym przed zespoleniem	391
	17.5. Przyrosty odkształceń i naprężeń powstające po zespoleniu	391
	17.6. Krzywizna i naprężenia wywołane skurczem betonu	395
u 400	17.7. Uwagi o łączeniu efektów oddziaływań powstałych przed i po zespoleniu	400
	17.8. Dane do egzemplifikacji, przekroje sprowadzone, skurcz betonu	401
	17.9. Straty sprężenia w elementach zespolonych	412
	17.9.1. Dane do wyznaczania opóźnionych strat sprężenia	412
	17.9.2. Obliczanie strat opóźnionych	414
	17.10. Naprężenia i ugięcia w elementach niezarysowanych	417
	17.10.1. Naprężenia normalne	417
	17.10.2. Ugięcia	421
entach zespolonych	17.11. Naprężenia, szerokość rys i minimalne zbrojenie w zarysowanych elementach zespolonych	424
	17.12. Nośność na zginanie	428
	17.13. Nośność na ścinanie	431
	17.13.1. Ścinanie poprzeczne	431
	17.13.2. Ścinanie w płaszczyźnie zespolenia	431
ntach teowych	17.13.3. Ścinanie między półkami i środkiem w zespolonych elementach teowych	438
	Rozdział 18. Sprężone wieże, pylony i żerdzie	447
	18.1. Zastosowania, kształt, podstawy projektowania	447
2	18.2. Oddziaływania, odkształcenia i siły przekrojowe w trzonie wieży	452
	18.2.1. Ogólne informacje o oddziaływaniach	452
nstalacji anten	18.2.2. Wychylenie wierzchołka wieży i kąt nachylenia w miejscu instalacji anten	454
	18.2.3. Imperfekcje i efekty drugiego rzędu	454
	18.3. Stany graniczne nośności trzonu	457
	18.3.1. Zasady obliczania nośności granicznej na zginanie	458
	18.3.2. Moment graniczny – przybliżenie	463

464	18.3.3. Moment graniczny – przybliżenia lepsze od przybliżenia 0	
	18.3.4. Minimalne zbrojenie sprężające ze względu na nośność	467
	18.3.5. Sytuacja at transfer	467
	18.3.6. Nośność na ścinanie	468
	18.4. Stan graniczny użyteczności	468
	18.5. Wnioski dotyczące projektowania trzonu	470
	Rozdział 19. Krótki przegląd zastosowań konstrukcji sprężonych	471
	Rozdział 20. Studium projektowe I. Strunobetonowy dźwigar dachowy	477
	20.1. Uwagi wstępne i podstawowe dane	477
	20.2. Oddziaływania i momenty zginające	478
	20.3. Materiały konstrukcyjne, wymagania ze względu na pożar i rozmieszczenie zbrojenia	483
	20.3.1. Beton	483
	20.3.2. Stal sprężająca i stal zbrojeniowa	484
	20.3.3. Wymagania ze względu na pożar i rozmieszczenie zbrojenia	485
	20.4. Potrzebny wskaźnik wytrzymałości przekroju w zależności od metody projektowania i klasy ekspozycji	486
	20.5. Przybliżone sprawdzenie stanów granicznych przy założeniu sprężenia pełnego	492
	20.5.1. Naprężenia w SGU i mimośród siły sprężającej	492
	20.5.2. Nośność graniczna przekroju	495
	20.5.3. Ugięcia	496
	20.5.4. Wpływ klasy ekspozycji na projektowanie elementów w pełni sprężonych	498
	20.6. Przybliżone sprawdzenie stanów granicznych przy założeniu sprężenia częściowego	498
	20.6.1. Naprężenia w SGU	499
	20.6.2. Nośność graniczna przekroju i wstępne sprawdzenie naprężeń w SGU	500
	20.6.3. SG zarysowania	502
	20.6.4. Ugięcia	502
	20.6.5. Wpływ klasy ekspozycji na projektowanie elementów częściowo sprężonych	503
	20.7. Ścisłe obliczenie charakterystyk geometrycznych przekroju, doraźnych strat sprężenia i naprężeń w sytuacji początkowej	504
	20.8. Straty opóźnione	509
	20.8.1. Relaksacja stali po zwolnieniu naciągu	509
	20.8.2. Skurcz i pęcznienie betonu	510
	20.8.3. Łączne straty opóźnione i zestawienie sił sprężających	510
	20.9. SG naprężeń i zarysowanie w sytuacji trwałej	512
	20.10. Nośność na zginanie w sytuacji trwałej	517
	20.11. Ugięcia	519
	20.12. Nośność graniczna w sytuacji początkowej	520
	20.13. Zakotwienie cięgien	521
	20.14. Ścinanie poza strefą zakotwienia	522
	20.15. Strefa zakotwienia	525
	Rozdział 21. Studium projektowe II. Elementy sprężone kablami bez przyczepności	529
	21.1. Uwagi wstępne i podstawowe dane	529
	21.2. Swobodnie podparte pasmo płytowe	530
	21.3. Zasady dotyczące elementów ustrojów statycznie niewyznaczalnych	534
	21.4. Czteroprzęsłowe pasmo płytowe	536
	21.5. Wnioski z przykładów i komentarze	545
	Dodatek. Minimalne wymiary elementów i odległości zbrojenia od brzegów wymagane ze względu na pożar	547

D.1.	Ogólne zasady projektowanie tabelarycznego	547
D.2.	Tabelaryczne projektowanie belek i płyt	549
	D.2.1. Ogólne zasady dotyczące belek	549
	D.2.2. Belki swobodnie podparte i elementy rozciągane	550
	D.2.3. Belki ciągłe	551
	D.2.4. Płyty	554
Literatura		557