

Spis treści

<b>Podstawowe oznaczenia</b>	<b>13</b>
<b>Spis najważniejszych tablic</b>	<b>21</b>
<b>Rozdział 1. Wstęp</b>	<b>23</b>
<b>Rozdział 2. Ogólna charakterystyka konstrukcji sprężonych</b>	<b>27</b>
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
<b>Rozdział 3. Beton w konstrukcjach sprężonych</b>	<b>65</b>
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 $\varphi(\infty, t_0)$ 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
<b>Rozdział 4. Stal sprężająca</b>	<b>105</b>
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
<b>Rozdział 5. Metody realizacji sprężenia</b>	<b>119</b>
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
<b>Rozdział 6. Siły przekrojowe i naprężenia wywoływane sprężeniem</b>	<b>141</b>
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 przyczepność	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 podparte	158
6.5.3. Symetryczna trasa kabli w płytach ciągłych	161
6.5.4. Trasa kabli w skrajnym przęśle 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
<b>Rozdział 7. Straty sprężenia</b>	<b>179</b>
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 tarciem i poślizgiem w zakotwieniach - kable proste	195
7.9. Przykład obliczenia strat wywołanych tarciem i poślizgiem w zakotwieniach - kable zakrzywione	197
7.10. Straty opóźnione	199
<b>Rozdział 8. Wymagania dotyczące naprężeń w betonie, dekompresji, zarysowania i ugięć</b>	<b>205</b>
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 $f_{ctm,fl}$ 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
<b>Rozdział 9. Sprawdzanie szerokości rys, minimalnego zbrojenia, wymagania dekompresji i ugięć</b>	<b>231</b>
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 zasada 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
<b>Rozdział 10. Nośność graniczna przekrojów sprężonych</b>	<b>259</b>
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
<b>Rozdział 11. Ścinanie i przebicie</b>	<b>291</b>
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
<b>Rozdział 12. Strefa przypodporowa w strunobetonie</b>	<b>305</b>
12.1. Długość zakotwienia cięgien	305
12.2. Sprawdzanie wymagań ze względu na ścinanie i zakotwienie cięgien	312
<b>Rozdział 13. Strefa zakotwień</b>	<b>313</b>
13.1. Strefa zakotwień w elementach kablobetonowych	313
13.2. Strefa zakotwienia w strunobetonie	318
<b>Rozdział 14. Swobodnie podparte płyty, belki i dźwigary sprężone</b>	<b>321</b>
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 mimośrod	348
<b>Rozdział 15. Monolityczne stropy kablobetonowe</b>	<b>351</b>
15.1. Ogólne zasady projektowania stropów kablobetonowych	351
15.2. Zastosowanie cięgien niezsolidaryzowanych do sprężania stropów	351
15.3. Nośność graniczna elementów zginanych z cięgnami niezsolidaryzowanymi	356
15.4. Naprężenia, straty sprężenia i stany graniczne użyteczności w elementach sprężonych cięgnami niezsolidaryzowanymi	362
15.4.1. Naprężenia w przekrojach niezarysowanych	362
15.4.2. Naprężenia w przekrojach zarysowanych i szerokość rys	363
15.4.3. Ugięcia	366
15.4.4. Straty siły sprężającej w kablach niezsolidaryzowanych	367
15.4.5. Wymagania dotyczące naprężeń i zarysowania	369
15.5. Uwagi dotyczące projektowania sprężonych stropów płytowo-słupowych	370
<b>Rozdział 16. Osiowo sprężone słupy o przekroju prostokątnym</b>	<b>373</b>
16.1. Uwagi ogólne	373
16.2. Nośność graniczna symetrycznych przekrojów prostokątnych	375
16.3. Przykład	378
<b>Rozdział 17. Konstrukcje zespolone ze sprężonymi elementami prefabrykowanymi</b>	<b>383</b>
17.1. Idea zespolenia, przykłady, zasady konstruowania	383
17.2. Ogólne wymagania dotyczące obliczeń	385
17.3. Podstawy analizy stanów granicznych użyteczności	389
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
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
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
17.13.3. Ścinanie między półkami i średnikiem w zespolonych elementach teowych	438
<b>Rozdział 18. Sprężone wieże, pylony i żerdzie</b>	<b>447</b>
18.1. Zastosowania, kształt, podstawy projektowania	447
18.2. Oddziaływania, odkształcenia i siły przekrojowe w trzonie wieży	452
18.2.1. Ogólne informacje o oddziaływaniach	452
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 0	463
18.3.3. Moment graniczny - przybliżenia lepsze od przybliżenia 0	464
18.3.4. Minimalne zbrojenie sprężające ze względu na nośność	467
18.3.5. Sytuacja <i>at transfer</i>	467
18.3.6. Nośność na ścinanie	468
18.4. Stan graniczny użyteczności	468
18.5. Wnioski dotyczące projektowania trzonu	470
<b>Rozdział 19. Krótki przegląd zastosowań konstrukcji sprężonych</b>	<b>471</b>
<b>Rozdział 20. Studium projektowe I. Strunobetonowy dźwigar dachowy</b>	<b>477</b>
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 pełzanie 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**