

Spis treści

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. Pęczanie betonu 86
- 3.3.6. Obliczanie współczynnika pęczania 91
- 3.3.7. Wyznaczanie współczynnika $\phi(\infty, t_0)$ metodą dwóch wykresów 93
- 3.3.8. Pęczanie przy naprężeniach skokowo zmiennych 95
- 3.4. Przykład obliczenia zmodyfikowanego wieku betonu i współczynnika pęczania 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 ciągów 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 przyczepność 142
- 6.2. Siły przekrojowe i naprężenia w elementach statycznie wyznaczalnych 144
 - 6.2.1. Uwagi ogólne 144
 - 6.2.2. Ciężna proste 144
 - 6.2.3. Ciężna 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 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
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 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

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 kłobetonowych 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 kłobetonowe 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 kłobetonowe 351

15.1. Ogólne zasady projektowania stropów kłobetonowych 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 użytkowalności 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 płytowosłupowych 370

Rozdział 16. Osiowo 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 użytkowalności 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 środkiem w zespolonych elementach teowych 438

Rozdział 18. Sprężone wieże, pylony i żerdzie 447

- 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 at transfer 467
 - 18.3.6. Nośność na ścinanie 468
- 18.4. Stan graniczny użytkowości 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