

# Spis treści

Podstawowe oznaczenia .....	XVII
Spis tablic .....	XXIX
<b>1. Wstęp .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Właściwości betonu .....</b>	<b>5</b>
2.1. Uwagi wstępne, struktura a właściwości mechaniczne betonu .....	5
2.2. Doświadczalne wyznaczanie wytrzymałości betonu .....	9
2.2.1. Wytrzymałość na ściskanie .....	9
2.2.2. Wytrzymałość na rozciąganie .....	12
2.3. Wytrzymałość na ściskanie jako zmienna losowa o rozkładzie normalnym ..	14
2.4. Wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie .....	16
2.4.1. Definicja wytrzymałości charakterystycznej .....	16
2.4.2. Kontrola jakości i wyznaczanie wytrzymałości betonu .....	17
2.5. Klasy wytrzymałości i wytrzymałość obliczeniowa betonu .....	21
2.5.1. Klasy wytrzymałości i cechy mechaniczne betonu .....	21
2.5.2. Wytrzymałość obliczeniowa .....	23
2.6. Zależność naprężenie-odkształcenie przy obciążeniu krótkotrwałym .....	24
2.6.1. Zależność naprężenie-odkształcenie zalecana do analizy konstrukcji	24
2.6.2. Zależności stosowane do analizy nośności granicznej .....	26
2.7. Wpływ wieku betonu na jego wytrzymałość i moduł sprężystości .....	29
2.8. Wytrzymałość w trójosiowym stanie naprężenia i wytrzymałość betonu	
skrępowanego .....	31
2.8.1. Uwagi ogólne .....	31
2.8.2. Wpływ wyteżenia w dwu- i trójosiowych stanach naprężenia według	
normy [N1] .....	33
2.9. Skurcz .....	35
2.9.1. Skurcz swobodny, wpływ skurczu na konstrukcję, rodzaje skurczu	35

2.9.2.	Miarodajny wymiar $h_0$ i współczynnik $k_h$ .....	38
2.9.3.	Odształcenia skurczowe – końcowe wartości i zależność od wieku betonu .....	39
2.10.	Pełzanie .....	41
2.10.1.	Definicja, pełzanie liniowe przy stałym naprężeniu .....	41
2.10.2.	Pełzanie nieliniowe .....	43
2.10.3.	Wyznaczanie wartości współczynnika pełzania .....	44
2.10.4.	Zmodyfikowany wiek betonu $t_0$ .....	44
2.10.5.	Końcowy współczynnik pełzania $\varphi(\infty, t_0)$ .....	46
2.10.6.	Współczynnik pełzania jako funkcja wieku betonu .....	48
2.10.7.	Uwagi o wpływie pełzania na konstrukcje z betonu .....	49
2.11.	Przykłady .....	51
<b>3.</b>	<b>Zbrojenie – właściwości i ogólne zasady konstruowania .....</b>	<b>54</b>
3.1.	Ogólna charakterystyka zbrojenia i wymagania norm projektowania .....	54
3.2.	Właściwości stali zbrojeniowej .....	55
3.2.1.	Podstawowe cechy zbrojenia i norma PN-EN 10080 .....	55
3.2.2.	Granica plastyczności i wytrzymałość stali zbrojeniowej .....	57
3.2.3.	Zależność naprężenie-odkształcenie .....	57
3.2.4.	Ciągliwość .....	58
3.2.5.	Obliczeniowa granica plastyczności i uproszczony wykres $\sigma$ - $\epsilon$ ....	59
3.2.6.	Uzębrowanie i średnica nominalna .....	61
3.2.7.	Inne właściwości stali zbrojeniowej .....	62
3.3.	Przykładowe rodzaje stali zbrojeniowej .....	62
3.3.1.	Stal według polskiej normy projektowania PN 2002 .....	63
3.3.2.	Przykłady wyrobów dziś oferowanych na rynku .....	64
3.4.	Ogólne zasady konstruowania i kotwienia zbrojenia .....	65
3.4.1.	Uwagi wstępne .....	65
3.4.2.	Odstępy pomiędzy prętami .....	67
3.4.3.	Krzywizna prętów .....	67
3.4.4.	Przyczepność i podstawowa, wymagana długość zakotwienia $l_{b,rqd}$ ..	71
3.4.5.	Wyznaczanie i odmierzanie obliczeniowej długości zakotwienia ...	75
3.5.	Połączenia prętów na zakład .....	79
3.5.1.	Rozmieszczanie połączeń na zakład i prętów w połączeniach .....	79
3.5.2.	Obliczeniowa długość zakładu .....	82
3.5.3.	Zbrojenie poprzeczne w strefie zakładu .....	83
3.6.	Połączenia na zakład siatek spajanych z prętów żebrowanych .....	85
3.6.1.	Połączenia zbrojenia głównego .....	85
3.6.2.	Zakłady zbrojenia drugorzędowego i rozdzielczego .....	86
3.7.	Dodatkowe wymagania dotyczące grubych prętów i wiązek prętów .....	86
3.7.1.	Pręty o dużych średnicach .....	86
3.7.2.	Wiązki prętów .....	87
3.7.3.	Zbrojenie przypowierzchniowe .....	88

<b>4. Siły i naprężenia w przekrojach elementów żelbetowych</b> .....	89
4.1. Uwagi wstępne .....	89
4.2. Fazowy opis stanu przekrojów żelbetowych .....	91
4.2.1. Osiowe rozciąganie .....	91
4.2.2. Zginanie .....	93
4.2.3. Przekroje z niezerową siłą podłużną i moment $M_{s1}$ .....	94
4.3. Klasyczna teoria liniowa .....	97
4.3.1. Założenia, przekroje sprowadzone .....	97
4.3.2. Krzywizna i naprężenia .....	98
4.3.3. Faza I .....	101
4.3.4. Czyste zginanie w fazie II .....	101
4.3.5. Faza II przy $N \neq 0$ .....	102
4.3.6. Faza II – rozciąganie z małym mimośrodem .....	104
4.3.7. Algorytmy teorii liniowej .....	105
4.3.8. Przykłady .....	107
<b>5. Podstawy projektowania</b> .....	115
5.1. Podstawowe wymagania .....	115
5.1.1. Uwagi wstępne i zastosowanie teorii niezawodności .....	115
5.1.2. Wymagania ogólne .....	118
5.2. Norma projektowania konstrukcji z betonu na tle systemu norm europejskich .....	120
5.3. Metoda współczynników częściowych (stanów granicznych) .....	123
5.3.1. Uwagi wstępne .....	123
5.3.2. Stany graniczne .....	123
5.3.3. Sytuacje obliczeniowe, oddziaływania charakterystyczne i reprezentatywne .....	125
5.3.4. Kombinacje oddziaływań i ogólne zasady sprawdzania stanów granicznych .....	127
5.3.5. Metoda współczynników częściowych – krótkie podsumowanie ...	130
5.4. Trwałość konstrukcji i otulenie zbrojenia .....	132
5.4.1. Podstawowe czynniki i zjawiska wpływające na trwałość .....	132
5.4.2. Środowisko – klasy ekspozycji i wymagane klasy wytrzymałości betonu .....	133
5.4.3. Ogólne zasady określania otulenia zbrojenia .....	137
5.4.4. Dodatkowe wymagania dotyczące otulenia .....	140
5.4.5. Odchyłki otulenia .....	140
5.4.6. Wyznaczanie otulenia – ujęcie algorytmiczne i przykład .....	141
5.5. Uwzględnianie pożaru w projektowaniu konstrukcji .....	143
5.5.1. Uwagi wstępne .....	143
5.5.2. Ogólne zasady projektowania i wpływ temperatur pożarowych na właściwości betonu i zbrojenia .....	144
5.5.3. Pożar nominalny i kryteria R, E, I .....	146

5.5.4.	Stosowanie metody częściowych współczynników do sprawdzania kryterium R .....	147
5.5.5.	Projektowanie tabelaryczne .....	149
5.5.6.	Odpryskiwanie i odpadanie betonu oraz konstrukcja połączeń .....	161
5.5.7.	Beton wysokiej wytrzymałości .....	162
5.5.8.	Obliczanie nośności w warunkach pożaru metodą izotermy 500 ...	163
5.5.9.	Zasady konstruowania zwiększające bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji .....	166
<b>6.</b>	<b>Nośność graniczna przekrojów normalnych – podstawy teorii .....</b>	<b>169</b>
6.1.	Uwagi wstępne .....	169
6.2.	Nośność graniczna według Eurokodu .....	170
6.2.1.	Założenia Eurokodu .....	170
6.2.2.	Wybrane założenia Eurokodu zastosowane w książce .....	173
6.3.	Naprężenia i siły w stanie granicznym nośności .....	175
6.4.	Obliczanie nośności przekrojów o dowolnym kształcie .....	177
6.5.	Graniczny zasięg strefy ściskanej i racjonalne zbrojenie belek .....	180
<b>7.</b>	<b>Zginanie .....</b>	<b>183</b>
7.1.	Przekroje prostokątne .....	183
7.1.1.	Podstawowe zależności .....	183
7.1.2.	Podstawowe zależności w funkcji zmiennych bezwymiarowych ...	186
7.1.3.	Obliczanie przekrojów pojedynczo zbrojonych .....	189
7.1.4.	Algorytmy, wykresy, tablice .....	190
7.1.5.	Przekroje podwójnie zbrojone .....	199
7.2.	Przekroje teowe i inne obliczane jako teowe .....	202
7.2.1.	Uwagi wstępne .....	202
7.2.2.	Stosowanie prostokątnego wykresu naprężeń w betonie .....	202
7.2.3.	Obliczanie zbrojenia i nośności przekrojów teowych .....	205
7.2.4.	Przekroje skrzynkowe i inne obliczane jako teowe .....	208
7.3.	Minimalne i maksymalne zbrojenie podłużne elementów zginanych .....	210
7.3.1.	Zbrojenie minimalne .....	210
7.3.2.	Zbrojenie maksymalne .....	213
7.4.	Przykłady .....	214
<b>8.</b>	<b>Obliczanie przekrojów, na które działa moment zginający i siła podłużna .....</b>	<b>221</b>
8.1.	Uwagi wstępne .....	221
8.2.	Przekrój prostokątny – siły wewnętrzne i odkształcenia w stanie granicznym	222
8.3.	Obliczanie momentu granicznego .....	225
8.4.	Obliczanie przekrojów symetrycznie zbrojonych za pomocą krzywych granicznych .....	231
8.4.1.	Stosowanie przekrojów symetrycznie zbrojonych .....	231

8.4.2.	Krzywa graniczna przekroju .....	231
8.4.3.	Obliczanie przekrojów prostokątnych i kołowych .....	233
8.5.	Obliczanie zbrojenia niesymetrycznego .....	240
8.5.1.	Podstawowe zależności – przypadki CT i CC .....	240
8.5.2.	Obliczanie zbrojenia w przypadku CT .....	244
8.5.3.	Obliczanie zbrojenia w przypadku CC .....	246
8.5.4.	Algorytmy UU .....	247
8.6.	Ukośne zginanie .....	249
8.7.	Elementy rozciągane .....	251
8.8.	Obliczanie zbrojenia za pomocą komputerów .....	254
8.9.	Przykłady .....	256
<b>9.</b>	<b>Analiza konstrukcji .....</b>	<b>264</b>
9.1.	Zakres i zadania analizy konstrukcji .....	264
9.2.	Idealizacja kształtu konstrukcji i obliczanie ustrojów jednokierunkowo zginanych .....	268
9.2.1.	Uwagi wstępne .....	268
9.2.2.	Płyty, belki, słupy, ściany, tarcze – podstawowe definicje .....	269
9.2.3.	Schematy statyczne, rozpiętości efektywne i kombinacje obciążeń .....	271
9.2.4.	Obliczanie belek ciągłych .....	278
9.2.5.	Wymagania dotyczące minimalnych momentów w przęsłach i na podporach .....	285
9.2.6.	Efektywna szerokość półek przekrojów teowych .....	286
9.3.	Elementy usztywniające i usztywnione .....	287
9.4.	Imperfekcje geometryczne konstrukcji i elementów wydzielonych .....	289
9.4.1.	Definicja elementów wydzielonych .....	289
9.4.2.	Rodzaje imperfekcji .....	289
9.4.3.	Wpływ nachylenia konstrukcji na siły wewnętrzne .....	290
9.4.4.	Trzy podstawowe zagadnienia związane z wpływem imperfekcji ...	292
9.4.5.	Przykłady zastosowania przepisów normy do analizy wpływu imperfekcji .....	295
9.5.	Wpływ efektów drugiego rzędu na elementy ściskane .....	302
9.5.1.	Ogólne zasady uwzględniania efektów drugiego rzędu .....	302
9.5.2.	Efektywna długość elementów wydzielonych .....	305
9.5.3.	Wspólne zasady metod polegających na analizie wydzielonych elementów .....	309
9.5.4.	Metoda nominalnej sztywności i współczynnik powiększenia momentu .....	310
9.5.5.	Metoda nominalnej krzywizny .....	314
9.5.6.	Pomijanie wpływu efektów drugiego rzędu na elementy wydzielone .....	316
9.5.7.	Krytyczne przekroje w słupach, algorytmy i postępowanie iteracyjne .....	319
9.5.8.	Wpływ efektów drugiego rzędu na słupy w niektórych typach budynków .....	322

9.5.9.	Globalne efekty drugiego rzędu .....	324
9.5.10.	Przykłady .....	328
<b>10.</b>	<b>Ścinanie .....</b>	<b>336</b>
10.1.	Uwagi wstępne .....	336
10.2.	Ogólne zasady sprawdzania nośności na ścinanie .....	342
10.3.	Zasady konstruowania zbrojenia na ścinanie .....	344
10.4.	Minimalne zbrojenie poprzeczne .....	347
10.5.	Przypadki, w których obliczanie zbrojenia na ścinanie jest zbędne .....	349
10.5.1.	Siła graniczna $V_{Rd,c}$ .....	349
10.5.2.	Obliczeniowa wartość siły poprzecznej $V_{Ed}$ .....	352
10.5.3.	Przykłady .....	353
10.6.	Przypadki, w których należy obliczyć zbrojenie na ścinanie .....	356
10.6.1.	Model kratownicowy i warunki równowagi .....	356
10.6.2.	Pionowe zbrojenie na ścinanie .....	358
10.6.3.	Ukośne strzemiona i pręty odgięte .....	363
10.6.4.	Obliczeniowa wartość siły poprzecznej $V_{Ed}$ .....	364
10.6.5.	Optymalne projektowanie strzemion pionowych .....	365
10.6.6.	Nośność jako funkcja zbrojenia i maksymalne zbrojenie na ścinanie .....	370
10.6.7.	Elementy z nierównoległymi krawędziami .....	372
10.6.8.	Projektowanie zbrojenia na ścinanie – podsumowanie .....	372
10.6.9.	Przykłady .....	375
10.7.	Ścinanie między półkami i środkiem w elementach teowych .....	381
10.7.1.	Naprężenia styczne w styku i graniczne wartości tych naprężeń .....	381
10.7.2.	Miarodajne wartości siły $F_d$ i naprężeń stycznych $v_{Ed}$ .....	384
10.7.3.	Rola zbrojenia na zginanie płyty i łączne zbrojenie poprzeczne w styku .....	388
10.7.4.	Przykład .....	389
10.7.5.	Uwagi o zbrojeniu układów płyta-żebro-podciąg .....	392
10.8.	Przebiecie .....	393
10.8.1.	Uwagi wstępne .....	393
10.8.2.	Podstawy teorii według [N1] .....	395
10.8.3.	Sprawdzanie przebiecia w ustrojach usztywnionych .....	400
10.8.4.	Szczegółowe zasady wyznaczania obwodów kontrolnych .....	401
10.8.5.	Wyznaczanie krytycznego obwodu kontrolnego w fundamentach ..	404
10.8.6.	Współczynniki $\beta$ i $k$ w najważniejszych szczególnych przypadkach ..	405
10.8.7.	Zbrojenie na przebiecie .....	407
10.8.8.	Algorytmy .....	415
10.8.9.	Przykłady .....	419
10.8.10.	Komentarz .....	423
<b>11.</b>	<b>Skrećanie .....</b>	<b>424</b>
11.1.	Uwagi wstępne .....	424

11.1.1. Przykłady skręcania i pomijanie skręcania w obliczeniach .....	424
11.1.2. Naprężenia styczne wywołane skręcaniem .....	426
11.2. Cienkościenny przekrój zamknięty jako model przekroju żelbetowego .....	427
11.3. Wymagania konstrukcyjne .....	429
11.4. Warunki równowagi w stanie granicznym nośności na skręcanie .....	430
11.5. Wymiarowanie przekrojów prostokątnych na jednoczesne skręcanie i ścinanie	433
11.5.1. Maksymalna nośność ze względu na beton .....	433
11.5.2. Przypadki, w których obliczanie zbrojenia poprzecznego jest zbędne	434
11.5.3. Obliczanie zbrojenia .....	434
11.6. Przykłady .....	434
<b>12. Ogólne zasady analizy konstrukcji .....</b>	<b>438</b>
12.1. Ogólna charakterystyka metod analizy zalecanych w normie .....	438
12.2. Działy mechaniki a modele do analizy konstrukcji z betonu .....	440
12.3. Stosowanie teorii plastyczności .....	441
12.3.1. Uwagi wstępne .....	441
12.3.2. Przeguby plastyczne, redystrybucja momentów zginających, przykład .....	442
12.3.3. Graniczny kąt obrotu w strefie przegubu plastycznego .....	445
12.3.4. Ograniczenia zastępujące sprawdzanie kątów obrotu .....	446
12.4. Liniowe i nieliniowe metody obliczeń i efekty drugiego rzędu .....	448
12.4.1. Zasady ogólne .....	448
12.4.2. Klasyfikacja metod obliczeń .....	450
<b>13. Stany graniczne użytkowości – wymagania ogólne, obliczanie naprężeń .....</b>	<b>454</b>
13.1. Podstawowe wymagania i zasady .....	454
13.2. Ograniczenia naprężeń .....	456
13.2.1. Ograniczenia naprężeń ściskających w betonie .....	456
13.2.2. Ograniczenia naprężeń rozciągających w zbrojeniu .....	458
13.3. Siła rysująca i moment rysujący .....	459
13.4. Obliczanie naprężeń .....	462
13.4.1. Zastosowanie teorii klasycznej .....	462
13.4.2. Uprozczone obliczanie naprężeń .....	463
13.4.3. Przykłady .....	465
<b>14. Zarysowanie .....</b>	<b>467</b>
14.1. Zarysowanie jako zjawisko i wymagania normy .....	467
14.1.1. Rysy wywołane oddziaływaniami bezpośrednimi .....	468
14.1.2. Rysy spowodowane ograniczeniem swobody odkształceń .....	468
14.1.3. Przeciwdziałanie zarysowaniu spowodowanemu skrępowaniem odkształceń .....	472
14.2. Wymagania dotyczące zarysowania konstrukcji .....	473

14.3.	Obliczanie rozstawu i szerokości rys .....	475
14.3.1.	Założenia teorii .....	475
14.3.2.	Wpływ przyczepności na rozstaw rys .....	478
14.3.3.	Efektywne pole rozciągane .....	479
14.3.4.	Wpływ otulenia i wymiarów strefy rozciąganej .....	480
14.3.5.	Obliczanie rozstawu rys .....	481
14.3.6.	Szerokość rys .....	482
14.4.	Kontrola zarysowania na podstawie tablicy maksymalnych średnic zbrojenia .....	488
14.5.	Przykład .....	490
<b>15.</b>	<b>Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie .....</b>	<b>493</b>
15.1.	Do czego służy minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie? .....	493
15.2.	Doktryna i podstawowy wzór normy [N1] oraz uzupełnienia niemieckie ....	496
15.2.1.	Doktryna .....	496
15.2.2.	Sprawdzanie minimalnego zbrojenia, efektywna wytrzymałość $f_{ct,eff}$ i współczynnik $k$ .....	496
15.2.3.	Uzupełnienia niemieckie do normy europejskiej .....	499
15.3.	Uprozczone wyznaczanie minimalnego zbrojenia .....	501
15.4.	Minimalne zbrojenie ze względu na naprężenia termiczno-skurczowe .....	506
15.4.1.	Naprężenia wywołane odpływem ciepła hydratacji i skurczem betonu .....	506
15.4.2.	Obliczanie naprężeń wymuszonych .....	509
15.4.3.	Termin 1 – temperatura i naprężenia wywołane hydratacją cementu .....	513
15.4.4.	Termin 2 – odkształcenia i naprężenia wywołane skurczem betonu .....	515
15.5.	Przykłady .....	516
15.6.	Podsumowanie .....	536
<b>16.</b>	<b>Sztywność, krzywizna i ugięcia elementów zginanych .....</b>	<b>538</b>
16.1.	Uwagi wstępne .....	538
16.2.	Wymagania dotyczące ugięć .....	539
16.3.	Sztywność .....	540
16.3.1.	Sztywność elementów zginanych w fazach I i II .....	540
16.3.2.	Sztywność elementów ściskanych .....	542
16.4.	Uśredniona krzywizna i obliczanie ugięć przez całkowanie .....	542
16.5.	Przybliżone obliczanie ugięć na podstawie najmniejszej sztywności przęsła .....	547
16.5.1.	Podstawowe wzory .....	547
16.5.2.	Obliczanie ugięć wywołanych przyrostami obciążenia .....	549
16.6.	Kontrola ugięć przez ograniczenie smukłości elementów zginanych .....	550
16.7.	Przykłady .....	553



<b>17. Dwuosiowy rozkład naprężeń i projektowanie za pomocą modeli ST</b>	<b>559</b>
17.1. Uwagi wstępne	559
17.2. Obliczanie zbrojenia na podstawie naprężeń	560
17.2.1. Obliczanie zbrojenia według Załącznika F do normy [N1]	560
17.3. Projektowanie za pomocą modeli ST	567
17.3.1. Uwagi wstępne	567
17.3.2. Obszary typu B i typu D – schemat projektowania metodą ST	568
17.3.3. Naprężenia graniczne w prętach S i T	570
17.3.4. Węzły i strefy węzłowe	573
17.3.5. Przykład	577
17.4. Krótkie wsporniki	579
17.4.1. Kształt, podstawowe wymagania	579
17.4.2. Obliczanie zbrojenia głównego	581
17.4.3. Obliczanie strzemion	584
17.4.4. Przykład	586
<b>18. Zasady konstruowania</b>	<b>590</b>
18.1. Uwagi wstępne	590
18.2. Wpływ siły poprzecznej na siłę w zbrojeniu podłużnym	591
18.3. Rozciągane zbrojenie podłużne – rozmieszczanie i kotwienie na podporach	596
18.3.1. Rozmieszczanie zbrojenia podłużnego	596
18.3.2. Kotwienie zbrojenia dolnego na podporach skrajnych	596
18.4. Płyty	600
18.4.1. Grubość, głębokość oparcia i zakotwienie zbrojenia na podporach	600
18.4.2. Zbrojenie na zginanie	601
18.4.3. Zbrojenie krawędzi swobodnych i naroży	604
18.4.4. Zbrojenie na ścinanie	605
18.4.5. Wpływ elementów ograniczających ugięcia stropów, obciążenia lokalne i obrzeża otworów	605
18.5. Belki	606
18.5.1. Kształt, wysokość i proporcje belek, zbrojenie minimalne i maksymalne	606
18.5.2. Zakotwienia zbrojenia przęsłowego na podporach	609
18.5.3. Zbrojenie górne nad podporami belek	610
18.5.4. Ściskane zbrojenie podłużne	611
18.5.5. Zbrojenie na ścinanie i na skręcanie	611
18.5.6. Zbrojenie w skrzyżowaniach belek	611
18.5.7. Zbrojenie przypowierzchniowe i zbrojenie wysokich belek	612
18.6. Słupy	613
18.6.1. Zbrojenie podłużne	613
18.6.2. Zbrojenie poprzeczne	613
18.7. Ściany	615
18.8. Systemy wiążące i wieńce	616

18.8.1.	Podstawowe zasady .....	616
18.8.2.	Wieńce obwodowe .....	617
18.8.3.	Wieńce wewnętrzne .....	617
18.8.4.	Powiązania poziome stropów ze słupami i/lub ścianami .....	618
18.8.5.	Powiązania pionowe .....	618
18.9.	Fundamenty .....	619
18.9.1.	Ławy i stopy niezbrojone .....	619
18.9.2.	Zakotwienie zbrojenia głównego fundamentów .....	619
18.10.	Zbrojenie elementów załamanych i zakrzywionych .....	622
<b>19.</b>	<b>Konstrukcje sprężone .....</b>	<b>624</b>
19.1.	Uwagi wstępne, idea konstrukcji sprężonych .....	624
19.1.1.	Uwagi wstępne .....	624
19.1.2.	Oddziaływanie siły sprężającej na beton .....	625
19.2.	Obliczanie naprężeń w przekrojach elementów sprężonych .....	632
19.3.	Stal sprężająca – właściwości, naprężenia graniczne .....	633
19.3.1.	Rodzaje stali sprężającej, wymagania, zależność naprężenie–odkształcenie .....	633
19.3.2.	Stal sprężająca według normy [N5] .....	634
19.3.3.	Relaksacja .....	634
19.3.4.	Naprężenia graniczne .....	636
19.4.	Straty sprężenia .....	637
19.4.1.	Rodzaje strat sprężenia .....	637
19.4.2.	Straty wywołane pielęgnacją cieplną betonu .....	637
19.4.3.	Straty spowodowane odkształceniem sprężystym betonu .....	638
19.4.4.	Relaksacja stali sprężającej jako przyczyna strat sprężenia .....	641
19.4.5.	Tarcie kabli o ścianki kanałów .....	642
19.4.6.	Straty w zakotwieniu .....	644
19.4.7.	Straty opóźnione .....	648
19.5.	Stan graniczny użyteczności – wymagania .....	652
19.5.1.	Zasady ogólne .....	652
19.5.2.	Ograniczenia naprężeń w betonie w sytuacji początkowej .....	653
19.5.3.	Ograniczenia naprężeń w betonie w sytuacji trwałej .....	654
19.5.4.	Graniczna szerokość rys i warunek dekompresji .....	655
19.5.5.	Moment rysujący, siła rysująca i minimalne zbrojenie .....	656
19.5.6.	Graniczne ugięcia .....	657
19.5.7.	Niejawne wymagania implikowane przez metodę obliczeń .....	658
19.5.8.	Stosowanie wytrzymałości $f_{ctm,fl}$ w elementach zginanych .....	658
19.5.9.	Stosowanie wymagań dotyczących naprężeń i zarysowania .....	659
19.6.	Obliczanie szerokości rys, minimalnego zbrojenia i sprawdzanie wymagania dekompresji .....	662
19.6.1.	Szerokość rys i minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie ..	662
19.6.2.	Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie .....	665
19.6.3.	Sprawdzanie wymagania dekompresji .....	666

19.7. Obliczanie ugięć .....	666
19.8. Nośność graniczna przekrojów sprężonych .....	668
19.8.1. Zasady ogólne .....	668
19.8.2. Nośność graniczna na zginanie w sytuacji trwałej .....	670
19.8.3. Nośność graniczna na zginanie w sytuacji początkowej .....	674
19.9. Ścinanie .....	677
19.9.1. Uwagi ogólne .....	677
19.9.2. Ścinanie na odcinkach niezarysowanych .....	679
19.9.3. Ścinanie na odcinkach zarysowanych .....	682
19.10. Strefa przypodporowa .....	683
19.10.1. Strefa zakotwień .....	683
19.10.2. Strefa zakotwień i zakotwienie cięgien w strunobetonie .....	687
19.11. Osiowo sprężone słupy o przekroju prostokątnym .....	691
19.12. Przykłady .....	695
<b>Załączniki</b> .....	712
<b>Literatura</b> .....	723