

Spis treści

Podstawowe oznaczenia XIV

Spis tablic XXIII

1. Wstęp	1
2. Właściwości betonu	5
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 skrzepowanego	31
2.8.1. Uwagi ogólne	31
2.8.2. Wpływ wyężenia 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. Odkształcenia skurczowe – końcowe wartości i zależność od wieku betonu	39
2.10. Pęzanie	41
2.10.1. Definicja, pęzanie liniowe przy stałym naprężeniu	41
2.10.2. Pęzanie nieliniowe	43
2.10.3. Wyznaczanie wartości współczynnika pęzania	44
2.10.4. Zmodyfikowany wiek betonu t_0	44
2.10.5. Końcowy współczynnik pęzania $\epsilon_{cs}(t, t_0)$	46
2.10.6. Współczynnik pęzania jako funkcja wieku betonu	48

2.10.7. Uwagi o wpływie pełzania na konstrukcje z betonu	49
2.11. Przykłady	51
3. Zbrojenie – właściwości i ogólne zasady konstruowania	54
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 σ - ϵ	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	83
3.5.3. Zbrojenie poprzeczne w strefie zakładu	84
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
4. Siły i naprężenia w przekrojach elementów żelbetowych	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
 5. Podstawy projektowania	 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	162
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	167
 6. Nośność graniczna przekrojów normalnych – podstawy teorii	 169
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
 7. Zginanie	 183
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
 8. Obliczanie przekrojów, na które działa moment zginający i siła podłużna	 221
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	230
8.4.1. Stosowanie przekrojów symetrycznie zbrojonych	230
8.4.2. Krzywa graniczna przekroju	230
8.4.3. Obliczanie przekrojów prostokątnych i kołowych	232
8.5. Obliczanie zbrojenia niesymetrycznego	239
8.5.1. Podstawowe zależności – przypadki CT i CC	239
8.5.2. Obliczanie zbrojenia w przypadku CT	243
8.5.3. Obliczanie zbrojenia w przypadku CC	245
8.5.4. Algorytmy UU	246
8.6. Ukośne zginanie	248
8.7. Elementy rozciągane	250
8.8. Obliczanie zbrojenia za pomocą komputerów	253
8.9. Przykłady	255

9. Analiza konstrukcji	263
9.1. Zakres i zadania analizy konstrukcji	263
9.2. Idealizacja kształtu konstrukcji i obliczanie ustrojów jednokierunkowo zginanych	267
9.2.1. Uwagi wstępne	267
9.2.2. Płyty, belki, słupy, ściany, tarcze – podstawowe definicje	268
9.2.3. Schematy statyczne, rozpiętości efektywne i kombinacje obciążeń	270
9.2.4. Obliczanie belek ciągłych	277
9.2.5. Wymagania dotyczące minimalnych momentów w przęsłach i na podporach	284
9.2.6. Efektywna szerokość pól przekrojów teowych	285
9.3. Elementy usztywniające i usztywnione	286
9.4. Imperfekcje geometryczne konstrukcji i elementów wydzielonych	288
9.4.1. Definicja elementów wydzielonych	288
9.4.2. Rodzaje imperfekcji	288
9.4.3. Wpływ nachylenia konstrukcji na siły wewnętrzne	289
9.4.4. Trzy podstawowe zagadnienia związane z wpływem imperfekcji	291
9.4.5. Przykłady zastosowania przepisów normy do analizy wpływu imperfekcji	294
9.5. Wpływ efektów drugiego rzędu na elementy ściskane	301
9.5.1. Ogólne zasady uwzględniania efektów drugiego rzędu	301
9.5.2. Efektywna długość elementów wydzielonych	304
9.5.3. Wspólne zasady metod polegających na analizie wydzielonych elementów	308
9.5.4. Metoda nominalnej sztywności i współczynnik powiększenia momentu	309
9.5.5. Metoda nominalnej krzywizny	313
9.5.6. Pomijanie wpływu efektów drugiego rzędu na elementy wydzielone	315
9.5.7. Krytyczne przekroje w słupach, algorytmy i postępowanie iteracyjne	318
9.5.8. Wpływ efektów drugiego rzędu na słupy w niektórych typach budynków	321
9.5.9. Globalne efekty drugiego rzędu	323
9.5.10. Przykłady	327
10. Ścinanie	335
10.1. Uwagi wstępne	335
10.2. Ogólne zasady sprawdzania nośności na ścinanie	341
10.3. Zasady konstruowania zbrojenia na ścinanie	343
10.4. Minimalne zbrojenie poprzeczne	346
10.5. Przypadki, w których obliczanie zbrojenia na ścinanie jest zbędne	347
10.5.1. Siła graniczna $VR_{d,c}$	347
10.5.2. Obliczeniowa wartość siły poprzecznej V_{Ed}	350
10.5.3. Przykłady	351
10.6. Przypadki, w których należy obliczyć zbrojenie na ścinanie	354
10.6.1. Model kratownicowy i warunki równowagi	354
10.6.2. Pionowe zbrojenie na ścinanie	356

10.6.3. Ukośne strzemiona i pręty odgięte	361
10.6.4. Obliczeniowa wartość siły poprzecznej V_{Ed}	363
10.6.5. Optymalne projektowanie strzemion pionowych	364
10.6.6. Nośność jako funkcja zbrojenia i maksymalne zbrojenie na ścinanie	368
10.6.7. Elementy z nierównoległymi krawędziami	370
10.6.8. Projektowanie zbrojenia na ścinanie – podsumowanie	370
10.6.9. Przykłady	373
10.7. Ścinanie między półkami i środkiem w elementach teowych	380
10.7.1. Naprężenia styczne w styku i graniczne wartości tych naprężeń	380
10.7.2. Miarodajne wartości siły F_d i naprężeń stycznych v_{Ed}	382
10.7.3. Rola zbrojenia na zginanie płyty i łączne zbrojenie poprzeczne w styku	386
10.7.4. Przykład	387
10.7.5. Uwagi o zbrojeniu układów płyta-żebro-podciąg	390
 11. Skręcanie	 392
11.1. Uwagi wstępne	392
11.1.1. Przykłady skręcania i pomijanie skręcania w obliczeniach	392
11.1.2. Naprężenia styczne wywołane skręcaniem	394
11.2. Cienkościenny przekrój zamknięty jako model przekroju żelbetowego	395
11.3. Wymagania konstrukcyjne	397
11.4. Warunki równowagi w stanie granicznym nośności na skręcanie	398
11.5. Wymiarowanie przekrojów prostokątnych na jednoczesne skręcanie i ścinanie	401
11.5.1. Maksymalna nośność ze względu na beton	401
11.5.2. Przypadki, w których obliczanie zbrojenia poprzecznego jest zbędne	402
11.5.3. Obliczanie zbrojenia	402
11.6. Przykłady	402
 12. Ogólne zasady analizy konstrukcji	 406
12.1. Ogólna charakterystyka metod analizy zalecanych w normie	406
12.2. Działy mechaniki a modele do analizy konstrukcji z betonu	408
12.3. Stosowanie teorii plastyczności	409
12.3.1. Uwagi wstępne	409
12.3.2. Przeguby plastyczne, redystrybucjamomentów zginających, przykład	410
12.3.3. Graniczny kąt obrotu w strefie przegubu plastycznego	413
12.3.4. Ograniczenia zastępujące sprawdzanie kątów obrotu	415
12.4. Liniowe i nieliniowe metody obliczeń i efekty drugiego rzędu	417
12.4.1. Zasady ogólne	417
12.4.2. Klasyfikacja metod obliczeń	418
 13. Stany graniczne użytkowości – wymagania ogólne, obliczanie naprężeń	 422
13.1. Podstawowe wymagania i zasady	422

13.2. Ograniczenia naprężeń	424
13.2.1. Ograniczenia naprężeń ściskających w betonie	425
13.2.2. Ograniczenia naprężeń rozciągających w zbrojeniu	426
13.3. Siła rysująca i moment rysujący	427
13.4. Obliczanie naprężeń	430
13.4.1. Zastosowanie teorii klasycznej	430
13.4.2. Uprozczone obliczanie naprężeń	431
13.4.3. Przykłady	433
 14. Zarysowanie	 435
14.1. Zarysowanie jako zjawisko i wymagania normy	435
14.1.1. Rysy wywołane oddziaływaniami bezpośrednimi	436
14.1.2. Rysy spowodowane ograniczeniem swobody odkształceń	437
14.1.3. Przeciwdziałanie zarysowaniu spowodowanemu skrępowaniem odkształceń	440
14.2. Wymagania dotyczące pojawiania się rys i ich szerokości	441
14.3. Obliczanie rozstawu i szerokości rys	442
14.3.1. Założenia teorii	442
14.3.2. Wpływ przyczepności na rozstaw rys	444
14.3.3. Efektywne pole rozciągane	445
14.3.4. Wpływ otulenia i wymiarów strefy rozciąganej	448
14.3.5. Obliczanie rozstawu rys	448
14.3.6. Szerokość rys	450
14.4. Kontrola zarysowania na podstawie tablicy maksymalnych średnic zbrojenia	454
14.5. Przykład	456
 15. Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie	 458
15.1. Uwagi wstępne	458
15.2. Minimalne zbrojenie elementów osiowo rozciąganych	459
15.3. Podstawowy wzór normy	460
15.3.1. Pole Act i współczynnik kc	461
15.3.2. Efektywna wytrzymałość na rozciąganie $f_{ct,eff}$	465
15.3.3. Obliczanie minimalnego zbrojenia i stosowanie tablicy maksymalnych średnic	465
15.4. Przykłady	467
15.5. Komentarz	472
 16. Sztywność, krzywizna i ugięcia elementów zginanych	 474
16.1. Uwagi wstępne	474
16.2. Wymagania dotyczące ugięć	475
16.3. Sztywność	476
16.3.1. Sztywność elementów zginanych w fazach I i II	476
16.3.2. Sztywność elementów ściskanych	478

16.4. Uśredniona krzywizna i obliczanie ugięć przez całkowanie	478
16.5. Przybliżone obliczanie ugięć na podstawie najmniejszej sztywności przęsła	483
16.5.1. Podstawowe wzory	483
16.5.2. Obliczanie ugięć wywołanych przyrostami obciążenia	485
16.6. Kontrola ugięć przez ograniczenie smukłości elementów zginanych	486
16.7. Przykłady	489
 17. Dwuosiowy rozkład naprężeń i projektowanie za pomocą modeli ST	 495
17.1. Uwagi wstępne	495
17.2. Obliczanie zbrojenia na podstawie naprężeń	496
17.2.1. Obliczanie zbrojenia według Załącznika F do normy [N1]	496
17.3. Projektowanie za pomocą modeli ST	503
17.3.1. Uwagi wstępne	503
17.3.2. Obszary typu B i typu D – schemat projektowania metodą ST	504
17.3.3. Naprężenia graniczne w prętach S i T	506
17.3.4. Węzły i strefy węzłowe	509
17.3.5. Przykład	513
17.4. Krótkie wsporniki	515
17.4.1. Kształt, podstawowe wymagania	515
17.4.2. Obliczanie zbrojenia głównego	517
17.4.3. Obliczanie strzemion	521
17.4.4. Przykład	522
 18. Zasady konstruowania	 526
18.1. Uwagi wstępne	526
18.2. Wpływ siły poprzecznej na siłę w zbrojeniu podłużnym	527
18.3. Rozciągane zbrojenie podłużne – rozmieszczanie i kotwienie na podporach	532
18.3.1. Rozmieszczanie zbrojenia podłużnego	532
18.3.2. Kotwienie zbrojenia dolnego na podporach skrajnych	532
18.4. Płyty	536
18.4.1. Grubość, głębokość oparcia i zakotwienie zbrojenia na podporach	536
18.4.2. Zbrojenie na zginanie	537
18.4.3. Zbrojenie krawędzi swobodnych i naroży	540
18.4.4. Zbrojenie na ścinanie	541
18.4.5. Wpływ elementów ograniczających ugięcia stropów, obciążenia lokalne i obrzeża otworów	541
18.5. Belki	542
18.5.1. Kształt, wysokość i proporcje belek, zbrojenie minimalne i maksymalne	542
18.5.2. Zakotwienia zbrojenia przęsłowego na podporach	543
18.5.3. Zbrojenie górne nad podporami belek	544
18.5.4. Ściskane zbrojenie podłużne	546

18.5.5. Zbrojenie na ścinanie i na skręcanie	546
18.5.6. Zbrojenie w skrzyżowaniach belek	546
18.5.7. Zbrojenie przypowierzchniowe i zbrojenie wysokich belek	548
18.6. Słupy	548
18.6.1. Zbrojenie podłużne	548
18.6.2. Zbrojenie poprzeczne	549
18.7. Ściany	550
18.8. Systemy wiążące i wieńce	551
18.8.1. Podstawowe zasady	551
18.8.2. Wieńce obwodowe	552
18.8.3. Wieńce wewnętrzne	552
18.8.4. Powiązania poziome stropów ze słupami i/lub ścianami	553
18.8.5. Powiązania pionowe	553
18.9. Fundamenty	554
18.9.1. Ławy i stopy niezbrojone	554
18.9.2. Zakotwienie zbrojenia głównego fundamentów	555
18.10. Zbrojenie elementów załamanych i zakrzywionych	558
 Załączniki	 560
Literatura	571