

Spis treści

Najważniejsze oznaczenia	15
1. Wstęp	21
2. Podstawy projektowania	25
2.1. Wprowadzenie	25
2.2. Wymagania ogólne i metoda częściowych współczynników bezpieczeństwa	30
2.3. Stany graniczne	33
2.4. Charakterystyczne i obliczeniowe właściwości materiałów	34
2.5. Dane geometryczne	36
2.6. Obciążenia i oddziaływania	36
2.6.1. Klasyfikacja	36
2.6.2. Charakterystyczne wartości obciążeń	37
2.6.3. Reprezentatywne obciążenia zmienne	38
2.6.4. Współczynniki obciążeń i obciążenia obliczeniowe	39
2.7. Efekty obciążeń i nośność konstrukcji	40
2.8. Sytuacje obliczeniowe – układy obciążeń – przypadki i kombinacje obciążeń	40
2.9. Sprawdzanie stanów granicznych	42
2.9.1. Stany graniczne nośności	42
2.9.2. Stany graniczne użyteczności	48
2.10. Niezawodność konstrukcji a metoda współczynników częściowych według Eurokodu	49
2.11. System współczynników częściowych w EC1, EC2 i normach polskich	52
2.12. Trwałość konstrukcji i otulenie zbrojenia	55
2.12.1. Definicje i podstawowe wymagania	55
2.12.2. Oddziaływanie otoczenia na konstrukcję	56
2.12.3. Prognozowanie trwałości konstrukcji	62
2.12.4. Otulenie zbrojenia	65
Piśmiennictwo	70
3. Analiza statyczna konstrukcji	73
3.1. Wprowadzenie	73
3.2. Idealizacja konstrukcji	78
3.2.1. Klasyfikacja elementów konstrukcji	78
3.2.2. Obliczeniowa rozpiętość belek i płyt	79
3.2.3. Obliczeniowa szerokość pótek	81
3.2.4. Imperfekcje	83
3.2.5. Idealizacja materiału i obciążeń	88
3.3. Metody analizy – klasyfikacja i zakres stosowania	88
3.4. Analiza liniowa	92
3.4.1. Uwagi ogólne	92
3.4.2. Układy prętowe (belki i ramy)	93
3.4.3. Analiza liniowa płyt	96

3.4.4. Przykład	96
3.5. Analiza nieliniowa	98
3.5.1. Zasady ogólne nieliniowej analizy konstrukcji	98
3.5.2. Udoskonalona metoda analizy elementów prętowych poddanych zginaniu z udziałem lub bez udziału siły osiowej	104
3.5.3. Uprozczone metody analizy elementów prętowych poddanych zginaniu z udziałem lub bez udziału siły osiowej	108
3.5.4. Sprawdzanie niesprężystego obrotu przekroju żelbetowego	109
3.5.5. Przykład	110
3.6. Analiza plastyczna według teorii nośności granicznej	126
3.6.1. Założenia, podstawowe zależności i metody teorii ustrojów zginanych	126
3.6.2. Nośność w przegubach i załamach plastycznych	130
3.6.3. Warunki stosowania metod teorii nośności granicznej	133
3.6.4. Belki i nieprzesuwne ramy	135
3.6.5. Płyty	140
3.7. Metoda kratownicowa	150
3.7.1. Podstawy metody	150
3.7.2. Podstawy modelowania	152
3.7.3. Nośność obliczeniowa modelu kratowniczowego	156
3.7.4. Zastosowanie modelu kratowniczowego do wymiarowania konstrukcji	163
3.7.5. Przykłady	169
3.8. Wymiarowanie tarcz i płyt	172
3.8.1. Uwagi ogólne	172
3.8.2. Wymiarowanie zbrojenia ortogonalnego w tarczach	174
3.8.3. Wymiarowanie zbrojenia ortogonalnego w płytach	180
3.8.4. Przykłady obliczeniowe	184
Piśmiennictwo	186
4. Właściwości betonu	189
4.1. Wprowadzenie	189
4.2. Właściwości betonu według EC2 z 2004 r.	191
4.2.1. Postanowienia ogólne	191
4.2.2. Wytrzymałość na ściskanie	191
4.2.3. Wytrzymałość na rozciąganie	193
4.2.4. Klasy wytrzymałości betonu	194
4.2.5. Zależność naprężenie – odkształcenie przy ściskaniu stosowana do nieliniowej analizy konstrukcji	196
4.2.6. Obliczeniowe wytrzymałości betonu na ściskanie i rozciąganie	197
4.2.7. Zależność naprężenie – odkształcenie przy ściskaniu stosowana do obliczania nośności granicznej przekroju	198
4.2.8. Moduł sprężystości	200
4.2.9. Współczynnik odkształcenia poprzecznego	201
4.2.10. Współczynnik rozszerzalności termicznej	201
4.2.11. Cechy wytrzymałościowe i odkształceniowe „zamkniętego” betonu	201
4.2.12. Skurcz	202
4.2.13. Pełzanie	206
4.2.14. Łączne oddziaływanie pełzania i skurczu	211
4.3. Uzasadnienia przepisów EC2 i komentarze	212
4.3.1. Wytrzymałość na ściskanie i klasy wytrzymałości betonu	212
4.3.2. Wytrzymałość na rozciąganie	216
4.3.3. Moduł sprężystości	222
4.3.4. Współczynnik odkształcenia poprzecznego	224
4.3.5. Współczynnik rozszerzalności termicznej	228

4.3.6. Zależność naprężenie – odkształcenie przy ściskaniu stosowana do nieliniowej analizy konstrukcji	228
4.3.7. Zależność naprężenie – odkształcenie przy ściskaniu stosowana do obliczania nośności przekrojów	230
4.3.8. Skurcz	230
4.3.9. Pełzanie	235
4.4. Porównanie podstawowych właściwości betonu wg PN-84/B-03264 i EC2	238
4.4.1. Klasy betonu, wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie, moduł sprężystości	239
4.4.2. Współczynniki odkształcenia poprzecznego i rozszerzalności termicznej	241
4.4.3. Zależność naprężenie – odkształcenie przy ściskaniu	241
4.4.4. Skurcz betonu	241
4.4.5. Pełzanie betonu	242
4.4.6. Przykład obliczenia wartości współczynnika pełzania wg EC2	242
Piśmiennictwo	244
5. Właściwości stali i wyrobów stalowych	247
5.1. Stal do konstrukcji żelbetowych	247
5.1.1. Wstęp, podstawowe definicje i oznaczenia	247
5.1.2. Wymagania EC2	249
5.1.3. Wymagania normy EN 10080	251
5.1.4. Wymagania polskich norm i zaleceń	259
5.1.5. Spawalność stali zbrojeniowej	262
5.2. Stal sprężająca i wyroby do konstrukcji sprężonych	267
5.2.1. Wprowadzenie	267
5.2.2. Podstawowe ustalenia normy prEN-10138	268
5.2.3. Uzasadnienie ustaleń normy prEN-10138	274
5.2.4. Wyroby i urządzenia do konstrukcji sprężonych	288
5.2.4.1. Uwagi ogólne	288
5.2.4.2. Zakotwienia kabli	289
Piśmiennictwo	292
6. Nośność przekrojów obciążonych momentem zginającym i siłą podłużną	295
6.1. Postanowienia ogólne	295
6.2. Założenia	295
6.3. Omówienie założeń	297
6.4. Przekrój prostokątny	304
6.4.1. Tablice pomocnicze	304
6.4.2. Określanie nośności	316
6.4.3. Diagramy interakcji momentu zginającego i siły osiowej	326
6.4.4. Procedura wymiarowania	327
6.5. Przekrój teowy	340
6.6. Przekrój kołowy i rurowy	346
6.7. Przekrój ukośnie mimośrodowo ściskany	346
6.8. Postanowienia dodatkowe	353
Piśmiennictwo	359
7. Ścinanie	409
7.1. Modele zjawiska ścinania i geneza metody EC2	409
7.2. Model kratownicowy według EC2	420
7.3. Ścinanie według EC2 z 2004 r.	423
7.3.1. Ogólne zasady	423
7.3.2. Obliczeniowe wartości sił ścinających	423
7.4. Elementy niewymagające zbrojenia poprzecznego na ścinanie	425

7.5. Elementy wymagające obliczeniowego zbrojenia na ścinanie	428
7.6. Ścinanie pomiędzy żebrami i płytą	432
7.7. Ścinanie pomiędzy warstwami betonu wykonywanymi w różnych terminach	435
7.8. Przykład	437
7.8.1. Zbrojenie strzemionami	439
7.8.2. Zbrojenie strzemionami i prętami odgiętymi	441
7.8.3. Sprawdzenie styku żebra z płytą	442
7.8.4. Porównawcza analiza belki swobodnie podpartej	445
Piśmiennictwo	451
8. Skręcanie	453
8.1. Wprowadzenie	453
8.2. Skręcany element w fazie II	457
8.3. Sztywność skręcania w fazie I	461
8.4. Sztywność skręcania w fazie II	462
8.5. Skręcanie w ujęciu EC2 z 2004 r.	465
8.5.1. Uwagi ogólne	465
8.5.2. Procedura wymiarowania wg EC2	466
8.5.3. Sprawdzanie nośności i obliczanie zbrojenia	468
8.6. Przykład	470
Piśmiennictwo	473
9. Przebiecie	475
9.1. Wprowadzenie	475
9.2. Przebiecie osiowo symetryczne	476
9.2.1. Model obliczeniowy	476
9.2.2. Pole obciążenia	478
9.2.3. Obwód i przekrój kontrolny (krytyczny)	479
9.2.4. Zasady obliczania przebiecia przez ścinanie	481
9.2.5. Nośność na przebiecie płyt i fundamentów bez zbrojenia poprzecznego	484
9.2.5.1. Przykład	486
9.2.6. Nośność na przebiecie płyt i fundamentów ze zbrojeniem poprzecznym	488
9.2.7. Nośność na przebiecie płyt stropowych z głowicami podporowymi	492
9.3. Przebiecie mimośrodowe	493
9.3.1. Ogólna charakterystyka	493
9.3.2. Porównanie i ocena zaleceń	494
9.4. Otwory w strefie przebiecia	497
9.5. Analiza mechanizmu przebiecia według współczesnych ujęć problemu	497
9.6. Podsumowanie	501
9.6.1. Przykład	501
Piśmiennictwo	503
10. Stan graniczny nośności z udziałem efektów odkształceń konstrukcji	505
10.1. Wprowadzenie	505
10.2. Modelowanie układu	509
10.2.1. Modelowanie geometrii i więzów	510
10.2.2. Model fizyczny	515
10.2.3. Niepewności modelu — imperfekcje	518
10.2.4. Współczynniki bezpieczeństwa	520
10.3. Metody analizy II rzędu	521
10.4. Słupy wydzielone	526
10.4.1. Długość efektywna	526
10.4.2. Smukłość	530
10.4.3. Ogólne metody obliczeń	533

10.4.4. Uproszczone metody obliczeń	537
10.4.5. Metoda słupa modelowego	538
10.4.6. Porównanie metod EC1992 z innymi metodami normowymi	542
10.4.7. Analiza II rzędu oparta na sztywności nominalnej według EC2 z 2004 r.	546
10.4.8. Analiza II rzędu oparta na nominalnej krzywiznie według EC2 z 2004 r.	549
10.5. Wpływ pełzania	550
10.6. Elementy ściskane dwukierunkowo	554
10.7. Zwiczerzenie belek smukłych	559
10.8. Materiały pomocnicze do projektowania	559
10.9. Przykłady	565
Piśmiennictwo	577
11. Stany graniczne użyteczności	579
11.1. Wymagania ogólne	579
11.2. Naprężenia i odkształcenia w fazach I i II	580
11.2.1. Teoria	580
11.2.2. Zestawienie wzorów	583
11.2.3. Ograniczenia naprężeń	586
11.3. Zjawisko zarysowania i wymagania EC2	589
11.3.1. Najważniejsze zjawiska	589
11.3.2. Ogólne zasady i wymagania EC2	591
11.4. Obliczanie szerokości rys	592
11.4.1. Podstawowe założenia	592
11.4.2. Odkształcenia ϵ_{sm} i ϵ_{cm}	594
11.4.3. Maksymalny rozstaw rys $s_{r,max}$	595
11.5. Minimalne zbrojenie	598
11.5.1. Zasady ogólne	598
11.5.2. Pole A_{cr} i współczynnik k_c	602
11.5.3. Wytrzymałość $f_{ct,eff}$ i współczynnik k	606
11.5.4. Minimum zbrojenia według EC2 i normy polskiej	607
11.6. Uproszczone sprawdzanie SG zarysowania	609
11.6.1. Moment rysujący i siła rysująca	609
11.6.2. Maksymalna średnica zbrojenia	609
11.7. Ugięcia	611
11.7.1. Wymagania	611
11.7.2. Zjawiska wpływające na odkształcenia konstrukcji i metody obliczania ugięć	612
11.7.3. Obliczanie ugięć metodą przybliżoną	615
11.7.4. Maksymalne smukłości elementów zginanych	618
11.8. Teoretyczne podstawy i uzasadnienia metod EC2	620
11.8.1. Średnie odkształcenia elementów zarysowanych	620
11.8.2. Rozstaw i szerokość rys	624
11.8.3. Ugięcia	630
11.8.4. Uproszczone sposoby sprawdzania SG zarysowania	631
11.9. Przykłady	635
11.9.1. Zastosowanie tablicy 11.1 do obliczania momentów bezwładności	635
11.9.2. Zginanie – szerokość rys w przekroju prostokątnym	636
11.9.3. Rozciąganie osiowe – szerokość rys przy obciążeniu bezpośrednim	639
11.9.4. Rozciąganie osiowe obciążeniem pośrednim – zastosowanie tablic i obliczenie bez tablic	641
11.9.5. Obliczanie ugięć	642
Piśmiennictwo	646

12. Konstrukcje sprężone	649
12.1. Wprowadzenie	649
12.2. Podstawowe wymagania i założenia	650
12.2.1. Wymagania ogólne	650
12.2.2. Obliczeniowe wartości siły sprężającej w stanie granicznym nośności	651
12.2.3. Charakterystyczna siła sprężająca w stanach granicznych użyteczności	652
12.3. Wymagania dotyczące materiałów w konstrukcjach sprężonych	652
12.4. Siła sprężająca i jej przebieg w czasie	653
12.4.1. Straty doraźne siły sprężającej	654
12.4.2. Odształcenia opóźnione w betonie	657
12.4.3. Relaksacja stali sprężającej	657
12.4.4. Straty reologiczne siły sprężającej	661
12.5. Stany graniczne użyteczności w konstrukcjach sprężonych	665
12.5.1. Sprawdzanie naprężeń w betonie i w stali	666
12.5.2. Minimalna powierzchnia zbrojenia w przekroju sprężonym	668
12.5.3. Analiza stanu granicznego zarysowania	669
12.5.4. Stan graniczny ugięć belek sprężonych	672
12.6. Stan graniczny nośności przekrojów sprężonych ciągłymi o pełnej przyczepności	674
12.6.1. Analiza stanu granicznego nośności zginanych przekrojów sprężonych	675
12.6.2. Nośność przekrojów sprężonych na ścinanie	679
12.6.3. Stan graniczny nośności zmęczeniowej w konstrukcjach sprężonych	681
12.7. Strefy zakotwień	685
12.7.1. Zakotwienie cięgien sprężających w strunobetonie	685
12.7.2. Strefa zakotwienia w elementach kabl betonowych	687
12.8. Przykłady obliczeń	691
12.8.1. Przykład 1. Straty siły sprężającej w elemencie kabl betonowym	691
12.8.2. Przykład 2. Sprawdzenie stanu granicznego nośności w sytuacji trwałej w zginanej belce kabl betonowej	698
Piśmiennictwo	702
13. Podstawy konstrukcyjne	703
13.1. Ogólne zasady rozmieszczania, kotwienia, zaginania i łączenia zbrojenia	703
13.1.1. Uwagi szczegółowe	703
13.1.2. Odległości pomiędzy prętami zbrojeniowymi	704
13.1.3. Zakotwienia	707
13.1.3.1. Podstawowa długość zakotwienia	707
13.1.3.2. Warunki dobrej przyczepności	711
13.1.3.3. Rodzaje zakotwień; haki, pętle	714
13.1.3.4. Obliczeniowa długość zakotwienia	719
13.1.4. Krzywizna odgięć	730
13.1.4.1. Pręty	730
13.1.4.2. Siatki zbrojeniowe	731
13.1.5. Połączenia na zakład	733
13.1.5.1. Pręty i druty	733
13.1.5.2. Zbrojenie poprzeczne w strefie zakładu	741
13.1.5.3. Siatki zbrojeniowe – połączenie zbrojenia głównego	742
13.1.5.4. Siatki zbrojeniowe – połączenie zbrojenia poprzecznego	745
13.2. Płyty	746
13.2.1. Uwagi wstępne	746
13.2.2. Grubość i głębokość oparcia na podporach	747
13.2.3. Minimalne i maksymalne zbrojenie główne	749
13.2.4. Zakotwienie zbrojenia przętowego na podporach	752
13.2.5. Zakotwienie górnego zbrojenia przypodporowego	754

13.2.6.	Rozmieszczenie zbrojenia głównego	756
13.2.7.	Prostopadłe do głównego zbrojenie płyt jednokierunkowo zbrojonych	759
13.2.8.	Zbrojenie naroży i krawędzi	760
13.2.9.	Zbrojenie na przebiecie	764
13.3.	Belki	770
13.3.1.	Wymiary przekroju i głębokość oparcia na podporach	770
13.3.2.	Minimalne i maksymalne zbrojenie podłużne, rozmieszczenie prętów w przekroju poprzecznym	771
13.3.3.	Zakotwienie zbrojenia przeszłowego na podporach	774
13.3.4.	Dodatkowe zbrojenie poprzeczne wspomagające zakotwienia prętów na podporach i w przęsłach	775
13.3.5.	Konstrukcyjne zbrojenie górne nad podporami	777
13.3.6.	Rozmieszczanie i kotwienie zbrojenia podłużnego	777
13.3.7.	Kształtowanie, kotwienie i łączenie zbrojenia na ścinanie	780
13.3.8.	Średnice, rozstawy i minimalny stopień zbrojenia na ścinanie	786
13.3.9.	Zbrojenie na skręcanie	793
13.3.10.	Zbrojenie przypowierzchniowe	796
13.3.11.	Zbrojenie w strefie skrzyżowania belek	797
13.4.	Słupy	800
13.4.1.	Kształtowanie	800
13.4.2.	Zbrojenie podłużne	801
13.4.3.	Zbrojenie poprzeczne	803
13.5.	Ściany i tarcze	810
13.5.1.	Ściany	810
13.5.1.1.	Zbrojenie pionowe ścian	810
13.5.1.2.	Zbrojenie poziome ścian	812
13.5.1.3.	Zbrojenie poprzeczne	813
13.5.1.4.	Zbrojenie w narożach otworów	815
13.5.2.	Tarcze	816
13.6.	Działanie sił skupionych	817
13.6.1.	Nośność strefy niezbrojonej	817
13.6.2.	Nośność strefy zbrojonej	820
13.6.3.	Konstrukcja zbrojenia strefy docisku	821
13.7.	Krótkie wsporniki i belki podcięte	823
13.7.1.	Krótkie wsporniki	823
13.7.1.1.	Kształtowanie	823
13.7.1.2.	Zbrojenie	825
13.7.2.	Belki podcięte	836
13.7.2.1.	Kształtowanie	836
13.7.2.2.	Zbrojenie	836
13.8.	Ograniczenie zakresu szkód wywołanych przez wypadek	840
13.8.1.	Uwagi ogólne	840
13.8.2.	Zbrojenie	843
13.8.2.1.	Zbrojenie zewnętrzne (obwodowe)	843
13.8.2.2.	Zbrojenie wewnętrzne	844
13.8.2.3.	Zbrojenie łączące ściany i słupy ze stropami	845
13.8.2.4.	Zbrojenie łączące pionowe	845
13.8.3.	Konstrukcja wieńców	846
13.8.4.	Połączenie płyt stropowych	847
13.8.5.	Uwagi o zachowaniu się częściowo uszkodzonego budynku ze ścianami nośnymi	847
13.9.	Elementy sprężone	850

13.9.1. Rozmieszczenie cięgien	850
13.9.2. Otulenie cięgien	850
13.9.3. Poziome i pionowe odstępstwa cięgien sprężających	852
13.9.4. Zakotwienia, łączniki i dewiatory	853
13.9.5. Konstruowanie strefy zakotwień elementów kablobetonowych	853
13.9.6. Zbrojenie dodatkowe konstrukcji sprężonych	854
Piśmiennictwo	855
14. Wykonawstwo i kontrola jakości	859
14.1. Podstawy normowe	859
14.2. Jakość materiałów	860
14.2.1. Mieszanka betonowa i beton	861
14.2.2. Stal zbrojeniowa	869
14.3. Tolerancje wymiarów	870
14.4. Zasady wykonawstwa	872
14.4.1. Deskowania i rusztowania	872
14.4.2. Montaż zbrojenia	875
14.4.3. Transport mieszanki betonowej	876
14.4.4. Układanie i zagęszczanie mieszanki	877
14.4.5. Pielęgnacja betonu	879
14.5. Kontrola jakości	882
14.5.1. Zakres i cel kontroli	882
14.5.2. Rodzaje kontroli	885
14.5.3. Kontrola projektu	885
14.5.4. Kontrola produkcji wyrobów i budowy	886
14.5.5. Kontrola i ocena jakości stali sprężających	895
14.5.6. Kontrola i utrzymanie wykonanej konstrukcji	899
Piśmiennictwo	899
15. Przykład obliczania konstrukcji	901
15.1. Opis konstrukcji	901
15.1.1. Dane ogólne	901
15.1.2. Obciążenia i środowisko	901
15.1.3. Materiały	902
15.2. Płyta	902
15.2.1. Zestawienie obciążeń i siły wewnętrzne od obciążeń charakterystycznych	902
15.2.2. Siły wewnętrzne w SG nośności	902
15.2.3. Wymiarowanie	905
15.2.4. Sprawdzenie SGU	907
15.3. Żebro	908
15.3.1. Schemat obciążenia, siły wewnętrzne od obciążeń charakterystycznych	908
15.3.2. Siły wewnętrzne w SG nośności	910
15.3.3. Wymiarowanie	911
15.3.4. Sprawdzenie SGU	918
15.3.5. Szczegóły zbrojenia	919
15.4. Podciąg	920
15.4.1. Schemat obciążenia, siły wewnętrzne od obciążeń charakterystycznych	920
15.4.2. Siły wewnętrzne w SG nośności	922
15.4.3. Wymiarowanie	922
15.4.4. Sprawdzenie SGU	926
15.4.5. Szczegóły zbrojenia	928
15.5. Słup	930
15.5.1. Obciążenia	930
15.5.2. Wymiarowanie	930

15.5.3. Szczegóły zbrojenia	933
15.6. Stopa fundamentowa	934
16. Problemy komputeryzacji obliczeń według Eurokodu 2	937
16.1. Wprowadzenie	937
16.2. Ogólna budowa programów	939
16.3. Jednoznaczność pojęć i modeli	941
16.4. Dokładność danych, modeli i algorytmów. Warunki konstrukcyjne	945
16.5. Wybrane problemy budowy modułów programów	950
16.5.1. Stany graniczne nośności (SGN)	950
16.5.2. Stany graniczne użyteczności (SGU)	954
Piśmiennictwo	956
17. Konstrukcje z betonu niezbrojonego i słabo zbrojonego	957
17.1. Zakres stosowania zasad Eurokodu	957
17.2. Podstawy projektowania i właściwości materiałów	957
17.3. Nośność przekrojów mimośrodowo ściskanych	958
17.4. Ścinanie i skręcanie	959
17.5. Wpływ odkształceń konstrukcji na stany graniczne nośności	962
17.5.1. Smukłość ścian i słupów	962
17.5.2. Uproszczona metoda projektowania ścian i słupów	963
17.6. Stany graniczne użyteczności i zasady konstruowania	964
17.7. Ławy i stopy fundamentowe	964
Piśmiennictwo	965
18. Konstrukcje z lekkich betonów kruszywowych	967
18.1. Informacje ogólne	967
18.2. Beton	968
18.3. Trwałość i otulenie zbrojenia	973
18.4. Analiza konstrukcji	973
18.5. Stany graniczne nośności	973
18.5.1. Ścinanie i skręcanie	973
18.5.2. Przebicie	974
18.5.3. Docisk	975
18.6. Stany graniczne użyteczności	975
18.7. Wymagania i zalecenia dotyczące zbrojenia konstrukcji	975
18.8. Wymagania dotyczące elementów konstrukcyjnych	976