

## 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 użytkowości                                                 | 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 pólek                                                | 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. Uproszczone 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 załomach 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 |
| Pismienictwo                                                                                            | 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. Spajalność 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 |
| Pismienictwo                                                                                            | 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 mimośrodkowo ściskany                                                             | 346 |
| 6.8. Postanowienia dodatkowe                                                                            | 353 |
| Pismienictwo                                                                                            | 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 zębem 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 zęba 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 krzywiźnie według EC2 z 2004 r.                  | 549 |
| 10.5. Wpływ pełzania                                                                           | 550 |
| 10.6. Elementy ściskane dwukierunkowo                                                          | 554 |
| 10.7. Zwichrzenie 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 $\epsilon_{sm}$ i $\epsilon_{cm}$                                        | 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 $A_{\alpha}$ i współczynnik $k_c$                                                 | 602 |
| 11.5.3. Wytrzymałość $f_{\alpha,eff}$ 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 użytkowalności                                | 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. Odkształcenia opóźnione w betonie                                                                     | 657 |
| 12.4.3. Relaksacja stali sprężającej                                                                          | 657 |
| 12.4.4. Straty reologiczne siły sprężającej                                                                   | 661 |
| 12.5. Stany graniczne użytkowalności 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 cięgnami 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 kablobetonowych                                                       | 687 |
| 12.8. Przykłady obliczeń                                                                                      | 691 |
| 12.8.1. Przykład 1. Straty siły sprężającej w elemencie kablobetonowym                                        | 691 |
| 12.8.2. Przykład 2. Sprawdzenie stanu granicznego nośności w sytuacji trwałej w zginanej belce kablobetonowej | 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 przęsłowego 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 przęsłowego 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 odstępy 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 użytkowości (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 użytkowości 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 użytkowości                                   | 975                                                                                     |
| 18.7. Wymagania i zalecenia dotyczące zbrojenia konstrukcji         | 975                                                                                     |
| 18.8. Wymagania dotyczące elementów konstrukcyjnych                 | 976                                                                                     |
| $A_p$                                                               | — pole przekroju zbrojenia sprężającego,                                                |
| $A_{s1}, A_{s2}$                                                    | — pola przekrojów grup prętów zbrojenia sprężającego (np. zbrojenia dolnego i górnego), |
| $A_s$                                                               | — pole przekroju zbrojenia rozciągającego,                                              |
| $A_{s1}, A_{s2}$                                                    | — pola przekrojów grup prętów zbrojenia (np. zbrojenia dolnego i górnego),              |
| $A_{sc}$                                                            | — pole przekroju zbrojenia na ścinanie,                                                 |
| $B$                                                                 | — szerokość (przy zginaniu) przekroju,                                                  |
| $E_c(t)$                                                            | — moduł sprężystości betonu rozpatrywany jako funkcja czasu,                            |
| $E_{c,eff}$                                                         | — zastępczy moduł sprężystości betonu,                                                  |
| $E_{cm}$                                                            | — obliczeniowa wartość modułu sprężystości betonu,                                      |
| $E_m$                                                               | — średni moduł sprężystości betonu,                                                     |
| $E_{c,nom}$                                                         | — wartość nominalna modułu sprężystości betonu,                                         |
| $E_s$                                                               | — moduł sprężystości stali,                                                             |