

|                                                                                |      |   |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|---|
| <b>Podstawowe oznaczenia</b>                                                   | XIII |   |
| <b>Spis tablic</b>                                                             | XXI  |   |
| <b>1. Wstęp</b>                                                                | 1    |   |
| <b>2. Zasady i algorytmy umieszczone w książce a normy PN-EN i PN-B</b>        |      | 5 |
| <b>3. Oddziaływania</b>                                                        | 10   |   |
| 3.1. Podstawy projektowania konstrukcji według Eurokodu                        | 10   |   |
| 3.2. Stany graniczne i metoda częściowych współczynników                       | 11   |   |
| 3.3. Sytuacje obliczeniowe, oddziaływania charakterystyczne i reprezentatywne  | 12   |   |
| 3.3.1. Definicje                                                               | 12   |   |
| 3.3.2. Obciążenia stałe i zmienne w budynkach                                  | 14   |   |
| 3.3.3. Oddziaływania w trakcie wykonywania konstrukcji                         | 17   |   |
| 3.3.4. Oddziaływania wyjątkowe                                                 | 17   |   |
| 3.3.5. Skurcz i pęcznienie betonu jako oddziaływania                           | 18   |   |
| 3.3.6. Inne oddziaływania                                                      | 19   |   |
| 3.4. Stan graniczny nośności (SGN) – kombinacje podstawowe                     | 19   |   |
| 3.5. Stan graniczny nośności – kombinacje oddziaływań w sytuacjach wyjątkowych | 21   |   |
| 3.6. Kombinacje oddziaływań do sprawdzania SGU                                 | 22   |   |
| <b>4. Beton</b>                                                                | 24   |   |
| 4.1. Wytrzymałość charakterystyczna i klasy betonu                             | 25   |   |
| 4.2. Obliczeniowa wartość wytrzymałości betonu na ściskanie                    | 26   |   |
| 4.3. Zależność naprężenie-odkształcenie przy obciążeniu krótkotrwałym          | 27   |   |
| 4.4. Skurcz betonu                                                             | 31   |   |
| 4.4.1. Rodzaje odkształceń skurczowych i wpływ skurczu na budowlę              | 31   |   |
| 4.4.2. Obliczanie swobodnego odkształcenia skurczowego                         | 33   |   |
| 4.5. Pęcznienie betonu                                                         | 36   |   |
| 4.5.1. Podstawowe definicje i zależności                                       | 36   |   |
| 4.5.2. Wpływ pęcznienia na konstrukcje z betonu                                | 38   |   |
| 4.5.3. Obliczanie współczynnika pęcznienia                                     | 39   |   |
| 4.5.4. Uprozczone sposoby wyznaczania współczynnika pęcznienia                 | 42   |   |
| 4.6. Przykłady obliczeń                                                        | 44   |   |
| <b>5. Stal zbrojeniowa</b>                                                     | 46   |   |
| 5.1. Uwagi ogólne                                                              | 46   |   |
| 5.2. Podstawowe cechy zbrojenia i norma PN-EN 10080                            | 47   |   |
| 5.3. Granica plastyczności i wytrzymałość stali zbrojeniowej                   | 49   |   |
| 5.4. Zależność naprężenie-odkształcenie                                        | 50   |   |
| 5.5. Ciągłość                                                                  | 51   |   |
| 5.6. Użebrowanie i średnica nominalna                                          | 52   |   |
| 5.7. Inne właściwości stali zbrojeniowej                                       | 53   |   |
| 5.8. Stal według normy [N2]                                                    | 53   |   |
| 5.9. Wyroby dziś oferowane na rynku                                            | 55   |   |
| <b>6. Trwałość konstrukcji i otulenie zbrojenia</b>                            | 57   |   |
| 6.1. Podstawowe czynniki i zjawiska wpływające na trwałość                     | 57   |   |
| 6.2. Środowisko – klasy ekspozycji i wymagane klasy wytrzymałości betonu       | 58   |   |
| 6.3. Ogólne zasady określania otulenia zbrojenia                               | 62   |   |
| 6.4. Dodatkowe wymagania dotyczące otulenia                                    | 65   |   |

|                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.5. Odchyłki otulenia                                                                           | 65         |
| 6.6. Wyznaczanie otulenia                                                                        | 66         |
| 6.6.1. Algorytm                                                                                  | 66         |
| 6.6.2. Przykład obliczeń                                                                         | 67         |
| <b>7. Wymagania ze względu na pożar</b>                                                          | <b>69</b>  |
| 7.1. Uwagi wstępne                                                                               | 69         |
| 7.2. Ogólne zasady projektowania i wpływ temperatur pożarowych na właściwości betonu i zbrojenia | 70         |
| 7.3. Pożar nominalny i kryteria R, E, I                                                          | 72         |
| 7.4. Stosowanie metody częściowych współczynników do sprawdzania kryterium R                     | 73         |
| 7.5. Projektowanie tabelaryczne                                                                  | 75         |
| 7.5.1. Zasady ogólne                                                                             | 75         |
| 7.5.2. Słupy                                                                                     | 77         |
| 7.5.3. Ściany                                                                                    | 81         |
| 7.5.4. Belki i elementy rozciągane                                                               | 82         |
| 7.5.5. Płyty                                                                                     | 86         |
| 7.6. Odpryskiwanie i odpadanie betonu oraz konstrukcja połączeń                                  | 89         |
| 7.7. Odporność na pożar betonu wysokiej wytrzymałości                                            | 89         |
| 7.8. Zasady konstruowania zwiększające bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji                       | 90         |
| <b>8. Ogólne zasady rozmieszczania i konstruowania zbrojenia</b>                                 | <b>93</b>  |
| 8.1. Zasady ogólne                                                                               | 93         |
| 8.2. Odstępy między prętami                                                                      | 94         |
| 8.3. Krzywizna prętów                                                                            | 95         |
| 8.4. Wyznaczanie i odmierzanie obliczeniowej długości zakotwienia                                | 99         |
| 8.4.1. Podstawowa długość zakotwienia                                                            | 99         |
| 8.4.2. Obliczeniowa długość zakotwienia                                                          | 101        |
| 8.4.3. Wpływ przyspojonego zbrojenia poprzecznego na długość zakotwienia                         | 104        |
| 8.4.4. Podstawowa i obliczeniowa długość zakotwienia według normy [N2]                           | 105        |
| 8.5. Połączenia na zakład                                                                        | 106        |
| 8.5.1. Wymagania ogólne                                                                          | 106        |
| 8.5.2. Obliczeniowa długość zakładu                                                              | 107        |
| 8.5.3. Zbrojenie poprzeczne w strefie zakładu                                                    | 108        |
| 8.5.4. Połączenia na zakład siatek spajanych z prętów żebrowanych                                | 110        |
| 8.6. Dodatkowe wymagania dotyczące grubych prętów i wiązek prętów                                | 111        |
| 8.6.1. Grube pręty i wiązki prętów                                                               | 111        |
| 8.6.2. Zbrojenie przypowierzchniowe                                                              | 112        |
| <b>9. Idealizacja kształtu i odpowiedzi konstrukcji na obciążenia</b>                            | <b>114</b> |
| 9.1. Uwagi wstępne                                                                               | 114        |
| 9.2. Płyty, belki, słupy, ściany, tarcze – podstawowe definicje                                  | 115        |
| 9.3. Schematy statyczne, rozpiętości efektywne                                                   | 116        |
| 9.4. Efektywna szerokość półek przekrojów teowych                                                | 118        |
| 9.5. Elementy usztywniające i usztywnione                                                        | 119        |
| 9.6. Imperfekcje geometryczne i niezamierzone mimośrodowo                                        | 121        |
| 9.6.1. Uwagi wstępne                                                                             | 121        |
| 9.6.2. Niezamierzony mimośród według normy [N2]                                                  | 121        |
| 9.7. Imperfekcje geometryczne konstrukcji i elementów wydzielonych według [N1]                   | 122        |
| 9.7.1. Zasady ogólne                                                                             | 122        |
| 9.7.2. Wpływ imperfekcji na układy złożone z wielu prętów                                        | 125        |
| 9.7.3. Wpływ imperfekcji na elementy wydzielone                                                  | 127        |

|                                                                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.7.4. Przykłady obliczeń i wnioski dotyczące stosowania norm [N1] i [N2]                                       | 128        |
| 9.8. Metody analizy konstrukcji                                                                                 | 134        |
| 9.8.1. Zagadnienia dwuwymiarowe                                                                                 | 134        |
| 9.8.2. Rola podstawowych działów i pojęć mechaniki w analizie konstrukcji z betonu                              | 135        |
| 9.8.3. Stosowanie teorii plastyczności – podstawowe idee i zasady                                               | 136        |
| <b>10. Nośność na zginanie</b>                                                                                  | <b>138</b> |
| 10.1. Podstawowe założenia i zależności                                                                         | 138        |
| 10.2. Graniczny zasięg strefy ściskanej                                                                         | 140        |
| 10.3. Minimalne i maksymalne zbrojenie podłużne elementów zginanych                                             | 141        |
| 10.3.1. Zbrojenie minimalne                                                                                     | 141        |
| 10.3.2. Zbrojenie maksymalne                                                                                    | 143        |
| 10.4. Zmienne bezwymiarowe i tablice do obliczania przekrojów prostokątnych                                     | 143        |
| 10.4.1. Przekroje pojedynczo zbrojone                                                                           | 143        |
| 10.4.2. Przekroje podwójnie zbrojone                                                                            | 152        |
| 10.5. Przekroje teowe                                                                                           | 153        |
| 10.6. Przekroje skrzynkowe i inne obliczane jako teowe                                                          | 156        |
| 10.7. Przykłady obliczeń                                                                                        | 158        |
| <b>11. Nośność przy jednoczesnym zginaniu i ściskaniu lub rozciąganiu</b>                                       | <b>163</b> |
| 11.1. Najważniejsze założenia                                                                                   | 163        |
| 11.2. Podstawowe zadania                                                                                        | 165        |
| 11.3. Obliczanie momentu granicznego                                                                            | 166        |
| 11.4. Prostokątne przekroje symetrycznie zbrojone – stosowanie krzywych granicznych                             | 167        |
| 11.5. Obliczanie przekrojów kołowych                                                                            | 169        |
| 11.6. Obliczanie zbrojenia niesymetrycznego                                                                     | 170        |
| 11.7. Ukośne zginanie                                                                                           | 170        |
| 11.8. Elementy rozciągane                                                                                       | 171        |
| 11.9. Uwagi o obliczaniu zbrojenia za pomocą komputerów                                                         | 175        |
| 11.10. Przykłady obliczeń                                                                                       | 176        |
| <b>12. Wpływ efektów drugiego rzędu na elementy ściskane</b>                                                    | <b>178</b> |
| 12.1. Ogólne zasady uwzględniania efektów drugiego rzędu                                                        | 178        |
| 12.2. Długość efektywna elementów wydzielonych                                                                  | 180        |
| 12.3. Uprozczone metody analizy elementów wydzielonych                                                          | 184        |
| 12.3.1. Metoda nominalnej sztywności                                                                            | 184        |
| 12.3.2. Metoda nominalnej krzywizny                                                                             | 185        |
| <b>13. Projektowanie elementów ściskanych</b>                                                                   | <b>187</b> |
| 13.1. Miarodajne siły wewnętrzne w słupach i podstawowy algorytm projektowania wydzielonego elementu ściskanego | 187        |
| 13.2. Minimalne i maksymalne zbrojenie słupów                                                                   | 192        |
| 13.3. Długość efektywna i kryteria pomijania wpływu efektów drugiego rzędu                                      | 192        |
| 13.4. Krytyczne przekroje i moment ekwiwalentny                                                                 | 196        |
| 13.5. Obliczanie przyrostu momentu wywołanego efektami drugiego rzędu                                           | 197        |
| 13.5.1. Metoda nominalnej krzywizny                                                                             | 197        |
| 13.5.2. Metoda nominalnej sztywności                                                                            | 199        |
| 13.5.3. Metoda polskiej normy z 2002 roku                                                                       | 200        |

|                                                                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.6. Obliczanie momentu granicznego lub pola przekroju zbrojenia                                           | 201        |
| 13.7. Elementy zginane ukośnie                                                                              | 210        |
| 13.8. Przykłady obliczeń                                                                                    | 211        |
| <b>14. Ścinanie</b>                                                                                         | <b>227</b> |
| 14.1. Uwagi wstępne i ogólne zasady sprawdzania nośności na ścinanie                                        | 227        |
| 14.1.1. Uwagi wstępne                                                                                       | 227        |
| 14.1.2. Ogólne zasady sprawdzania nośności                                                                  | 229        |
| 14.2. Zasady konstruowania zbrojenia na ścinanie                                                            | 230        |
| 14.3. Przypadki, w których nie wymaga się obliczania zbrojenia na ścinanie                                  | 232        |
| 14.3.1. Siła graniczna $V_{Rd,c}$                                                                           | 232        |
| 14.3.2. Obliczeniowa wartość siły poprzecznej $V_{Ed}$                                                      | 232        |
| 14.4. Przypadki, w których należy obliczyć zbrojenie na ścinanie                                            | 233        |
| 14.4.1. Podstawowe zależności                                                                               | 233        |
| 14.4.2. Obliczanie zbrojenia strzemionami prostopadłymi do osi belki                                        | 236        |
| 14.4.3. Optymalne zbrojenie strzemionami prostopadłymi do osi belki                                         | 238        |
| 14.4.4. Stosowanie strzemion nachylonych i prętów odgiętych                                                 | 239        |
| 14.5. Wpływ ukośnego zarysowania na siłę w zbrojeniu podłużnym                                              | 240        |
| 14.6. Ścinanie w elementach z nierównoległymi krawędziami                                                   | 241        |
| 14.7. Tablice – ścinanie w belkach                                                                          | 242        |
| 14.8. Przykłady obliczeń                                                                                    | 249        |
| 14.9. Ścinanie między półkami a środkiem w elementach teowych                                               | 257        |
| 14.9.1. Obliczanie naprężeń stycznych w styku i graniczne wartości tych naprężeń                            | 257        |
| 14.9.2. Miarodajne wartości siły $\Delta F_d$ i naprężeń stycznych $V_{Ed}$                                 | 260        |
| 14.9.3. Rola zbrojenia na zginanie płyty i łączne zbrojenie poprzeczne w styku                              | 262        |
| 14.10. Tablice                                                                                              | 263        |
| 14.11. Przykład obliczeń                                                                                    | 265        |
| 14.12. Ścinanie w styku między betonami ułożonymi w różnych terminach                                       | 268        |
| <b>15. Skręcanie</b>                                                                                        | <b>273</b> |
| 15.1. Zasady ogólne                                                                                         | 273        |
| 15.2. Naprężenia styczne przy skręcaniu i cienkościenny przekrój zamknięty jako model przekroju żelbetowego | 274        |
| 15.3. Wymagania konstrukcyjne                                                                               | 277        |
| 15.4. Przykłady obliczeń                                                                                    | 279        |
| <b>16. Przebicie</b>                                                                                        | <b>282</b> |
| 16.1. Podstawowe definicje i zasady                                                                         | 282        |
| 16.1.1. Naprężenia graniczne i podstawowe obwody kontrolne                                                  | 282        |
| 16.1.2. Zasady normy [N2] na tle normy [N1]                                                                 | 283        |
| 16.1.3. Pole obciążenia $A_{load}$                                                                          | 285        |
| 16.1.4. Wysokość użyteczna                                                                                  | 287        |
| 16.2. Obwody kontrolne                                                                                      | 287        |
| 16.3. Sprawdzanie płyt stropowych, które nie mają zbrojenia na przebicie                                    | 291        |
| 16.4. Sprawdzanie fundamentów, które nie mają zbrojenia na przebicie                                        | 293        |
| 16.5. Wymiarowanie zbrojenia na przebicie                                                                   | 296        |
| 16.6. Wyznaczanie współczynnika $\theta$                                                                    | 299        |
| 16.6.1. Słupy w układach usztywnionych                                                                      | 299        |
| 16.6.2. Słupy w układach nieusztywnionych                                                                   | 299        |
| 16.7. Przykłady obliczeń                                                                                    | 303        |

|                                                                               |            |          |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
| <b>17. Ogólne zasady i wymagania dotyczące użytkowania</b>                    | <b>310</b> |          |
| 17.1. Stany graniczne użytkowalności (SGU)                                    | 310        |          |
| 17.1.1. Zasady ogólne i definicje                                             | 310        |          |
| 17.1.2. Wpływ zarysowania na użyteczność konstrukcji                          | 311        |          |
| 17.2. Ograniczenia naprężeń                                                   | 315        |          |
| 17.2.1. Ograniczenia naprężeń rozciągających w zbrojeniu                      | 315        |          |
| 17.2.2. Ograniczenia naprężeń ściskających w betonie                          | 316        |          |
| 17.3. Graniczne szerokości rys w konstrukcjach żelbetowych                    | 317        |          |
| 17.4. Graniczne ugięcia                                                       | 318        |          |
| 17.5. Obliczanie naprężeń, momentu rysującego i siły rysującej                | 319        |          |
| 17.6. Uprozczone obliczanie naprężeń                                          | 323        |          |
| <b>18. Obliczanie szerokości rys i maksymalnej średnicy prętów zbrojenia</b>  |            | <b>3</b> |
| 25                                                                            |            |          |
| 18.1. Podstawy teorii                                                         | 325        |          |
| 18.2. Algorytm obliczania szerokości rys metodą ogólną                        | 329        |          |
| 18.3. Wyznaczanie maksymalnej średnicy prętów zbrojenia metodą dwóch naprężeń | 331        |          |
| 18.4. Przykłady obliczeń                                                      | 336        |          |
| <b>19. Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie</b>                      | <b>341</b> |          |
| 19.1. Ogólne zasady dotyczące minimalnego zbrojenia                           | 341        |          |
| 19.2. Podstawowy wzór normy                                                   | 343        |          |
| 19.3. Obliczanie minimalnego zbrojenia przy danej średnicy prętów             | 347        |          |
| 19.4. Przykłady obliczeń                                                      | 348        |          |
| <b>20. Ugięcia</b>                                                            | <b>353</b> |          |
| 20.1. Uwagi wstępne                                                           | 353        |          |
| 20.2. Kontrola ugięć przez ograniczenie smukłości elementów zginanych         | 353        |          |
| 20.3. Krzywizna, sztywność i ugięcia elementów zginanych – zasady ogólne      | 356        |          |
| 20.4. Obliczanie ugięć                                                        | 359        |          |
| 20.4.1. Ugięcia wywołane <i>quasi</i> -stałą kombinacją obciążeń              | 359        |          |
| 20.4.2. Obliczanie ugięć wywołanych przyrostami obciążenia                    | 362        |          |
| 20.4.3. Zastosowania MES                                                      | 363        |          |
| 20.5. Przykłady obliczeń                                                      | 364        |          |
| <b>21. Modele ST i krótkie wsporniki</b>                                      | <b>372</b> |          |
| 21.1. Ogólna charakterystyka modelowania konstrukcji metodą ST                | 372        |          |
| 21.2. Krótkie wsporniki słupów                                                | 373        |          |
| 21.2.1. Wymagania ogólne                                                      | 373        |          |
| 21.2.2. Obliczanie wsporników metodą belkową                                  | 374        |          |
| 21.2.3. Obliczanie wsporników na podstawie modelu ST                          | 376        |          |
| 21.3. Wsporniki belek                                                         | 379        |          |
| 21.4. Przykład obliczeń                                                       | 381        |          |
| <b>22. Projektowanie konstrukcji</b>                                          | <b>385</b> |          |
| 22.1. Minimalne zbrojenie elementów żelbetowych                               | 386        |          |
| 22.1.1. Ogólne zasady wyznaczania minimalnego zbrojenia                       | 386        |          |
| 22.1.2. Zbrojenie $\min_{ULS}$ w elementach zginanych                         | 387        |          |
| 22.1.3. Zbrojenie $\min_{cr}$ w elementach zginanych                          | 388        |          |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 22.1.4. Zbrojenie $\min_{uls}$ i $\min_{cr}$ w elementach rozciąganych                        | 389        |
| 22.1.5. Minimalne zbrojenie elementów zginanych z niezerową siłą podłużną                     | 390        |
| 22.1.6. Wykresy do wyznaczania minimalnego zbrojenia ze względu na zarysowanie                | 391        |
| 22.2. Belki i płyty ciągłe – miarodajne kombinacje obciążeń                                   | 398        |
| 22.2.1. Uproszczenia w rozmieszczaniu obciążeń zmiennych                                      | 398        |
| 22.2.2. Zasada alternatywnego wyboru w zastosowaniu do belek ciągłych                         | 398        |
| 22.2.3. Przykład obliczeń z zastosowaniem zasady alternatywnego wyboru                        | 402        |
| 22.2.4. Wymagania dotyczące minimalnych momentów w przęsłach i na podporach                   | 403        |
| 22.2.5. Miarodajne momenty podporowe w belkach i płytach ciągłych                             | 404        |
| 22.3. Wpływ siły poprzecznej na siłę w zbrojeniu podłużnym                                    | 406        |
| 22.4. Rozciągane zbrojenie podłużne – rozmieszczanie i kotwienie na podporach                 | 410        |
| 22.4.1. Rozmieszczanie zbrojenia podłużnego                                                   | 410        |
| 22.4.2. Kotwienie zbrojenia dolnego na podporach skrajnych                                    | 410        |
| 22.5. Płyty                                                                                   | 413        |
| 22.5.1. Grubość i głębokość oparcia na podporach                                              | 413        |
| 22.5.2. Zbrojenie płyt                                                                        | 414        |
| 22.5.3. Wpływ elementów ograniczających ugięcia stropów, obciążenia lokalne i obrzeża otworów | 418        |
| 22.6. Belki                                                                                   | 418        |
| 22.6.1. Kształt, wysokość i proporcje belek                                                   | 418        |
| 22.6.2. Obliczanie i rozmieszczanie zbrojenia, kotwienie zbrojenia przęsłowego na podporach   | 419        |
| 22.6.3. Zbrojenie górne nad podporami belek                                                   | 421        |
| 22.6.4. Zbrojenie w skrzyżowaniach belek                                                      | 421        |
| 22.6.5. Zbrojenie przypowierzchniowe i zbrojenie wysokich belek                               | 423        |
| 22.7. Słupy                                                                                   | 423        |
| 22.8. Ściany                                                                                  | 426        |
| 22.9. Systemy wiążące i wieńce                                                                | 426        |
| 22.9.1. Przepisy normy [N1]                                                                   | 426        |
| 22.9.2. Przepisy normy [N2]                                                                   | 429        |
| 22.10. Zbrojenie elementów załamanych i zakrzywionych                                         | 431        |
| 22.11. Fundamenty                                                                             | 432        |
| 22.11.1. Ławy i stopy niezbrojone                                                             | 433        |
| 22.11.2. Fundamenty żelbetowe                                                                 | 433        |
| <b>Literatura</b>                                                                             | <b>438</b> |