

# SPIS TREŚCI

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. PODSTAWY PROJEKTOWANIA . . . . .                                  | 15  |
| 1.1. Wstęp. . . . .                                                  | 15  |
| 1.2. Ogólne zasady projektowania. . . . .                            | 17  |
| 1.3. Stany graniczne jako podstawa obliczeń. . . . .                 | 18  |
| 1.3.1. Definicje stanów granicznych. . . . .                         | 18  |
| 1.3.2. Oddziaływania i obciążenia występujące w konstrukcji. . . . . | 19  |
| 1.3.3. Cechy materiałowe przyjmowane w obliczeniach. . . . .         | 23  |
| 1.3.4. Założenia do obliczeń metodą stanów granicznych. . . . .      | 25  |
| 1.4. Analiza statyczna konstrukcji żelbetowych. . . . .              | 27  |
| 1.4.1. Idealizacja konstrukcji. . . . .                              | 27  |
| 1.4.2. Metody analizy konstrukcyjnej. . . . .                        | 35  |
| 2. KRYTERIA MATERIAŁOWE I TRWAŁOŚĆ. . . . .                          | 51  |
| 2.1. Beton. . . . .                                                  | 51  |
| 2.1.1. Wytrzymałość betonu. . . . .                                  | 51  |
| 2.1.2. Odkształcalność betonu. . . . .                               | 66  |
| 2.2. Stal zbrojeniowa. . . . .                                       | 80  |
| 2.2.1. Właściwości stali. . . . .                                    | 80  |
| 2.2.2. Klasy stali zbrojeniowej. . . . .                             | 83  |
| 2.2.3. Odkształcalność stali zbrojeniowych. . . . .                  | 85  |
| 2.2.4. Zalecenia przy doborze gatunku stali. . . . .                 | 87  |
| 2.3. Współpraca zbrojenia z betonem. . . . .                         | 88  |
| 2.3.1. Przyczepność betonu do stali. . . . .                         | 88  |
| 2.3.2. Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych. . . . .             | 90  |
| 2.4. Trwałość konstrukcji żelbetowych. . . . .                       | 96  |
| 2.4.1. Wymagania ogólne. . . . .                                     | 96  |
| 2.4.2. Wymagania w zakresie trwałości. . . . .                       | 100 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. ELEMENTY ZGINANE . . . . .                                                                | 103 |
| 3.1. Zachowanie się elementu zginanego pod obciążeniem. . . . .                              | 103 |
| 3.1.1. Fazy wyężenia przekrojów zginanych. . . . .                                           | 103 |
| 3.1.2. Model odkształceniowy w analizie nośności przekrojów żelbetowych. . . . .             | 106 |
| 3.2. Obliczanie elementów zginanych metodą ogólną . . . . .                                  | 109 |
| 3.2.1. Zasady obliczeń. . . . .                                                              | 109 |
| 3.2.2. Obliczanie elementów zginanych jednokierunkowo. . . . .                               | 112 |
| 3.3. Obliczanie elementów zginanych metodą uproszczoną . . . . .                             | 156 |
| 3.3.1. Założenia metody uproszczonej. . . . .                                                | 156 |
| 3.3.2. Zginanie przekrojów prostokątnych i teowych. . . . .                                  | 159 |
| 3.4. Zasady konstruowania zbrojenia w elementach zginanych . . . . .                         | 171 |
| 3.4.1. Zasady ogólne doboru zbrojenia . . . . .                                              | 171 |
| 3.4.2. Przepisy normowe w zakresie rozmieszczania zbrojenia w elementach zginanych . . . . . | 173 |
| 3.5. Przykłady obliczeń. . . . .                                                             | 175 |
| 4. ELEMENTY ŚCISKANE MIMOŚRODOWO. . . . .                                                    | 191 |
| 4.1. Uwzględnianie wpływu smukłości. . . . .                                                 | 191 |
| 4.1.1. Podejście według Eurokodu 2. . . . .                                                  | 191 |
| 4.1.2. Postępowanie według przepisów polskich. . . . .                                       | 200 |
| 4.2. Metoda ogólna obliczeń elementów ściskanych. . . . .                                    | 206 |
| 4.2.1. Stany odkształceń i naprężeń przy ściskaniu. . . . .                                  | 206 |
| 4.2.2. Wymiarowanie prostokątnego przekroju elementu ściskanego. . . . .                     | 221 |
| 4.2.3. Określanie nośności przekroju — wykresy interakcji. . . . .                           | 225 |
| 4.3. Metoda uproszczona obliczeń elementów ściskanych. . . . .                               | 230 |
| 4.3.1. Założenia do obliczeń przekrojów żelbetowych. . . . .                                 | 230 |
| 4.3.2. Żelbetowe przekroje prostokątne jednokierunkowo mimośrodowo ściskane . . . . .        | 233 |
| 4.3.3. Elementy ściskane mimośrodowo w płaszczyźnie ukośnej. . . . .                         | 243 |
| 4.3.4. Obliczanie żelbetowych elementów ściskanych o przekroju kołowym. . . . .              | 246 |
| 4.3.5. Elementy ściskane niezbrojone. . . . .                                                | 249 |
| 4.4. Zasady zbrojenia elementów ściskanych. . . . .                                          | 250 |
| 4.4.1. Minimalne pole przekroju zbrojenia na ściskanie. . . . .                              | 250 |
| 4.4.2. Zasady rozmieszczania zbrojenia w elementach ściskanych. . . . .                      | 251 |
| 4.5. Przykłady obliczeń. . . . .                                                             | 252 |
| 5. ELEMENTY ROZCIĄGANE . . . . .                                                             | 269 |
| 5.1. Zasady ogólne wymiarowania . . . . .                                                    | 269 |
| 5.2. Metoda ogólna obliczeń. . . . .                                                         | 271 |
| 5.2.1. Założenia wstępne. . . . .                                                            | 271 |
| 5.2.2. Wymiarowanie zbrojenia w przekroju prostokątnym. . . . .                              | 273 |
| 5.3. Metoda uproszczona obliczeń. . . . .                                                    | 277 |

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.1. Określanie nośności przekroju. . . . .                                     | 277 |
| 5.3.2. Wymiarowanie zbrojenia w przypadku dużego mimośrod. . . . .                | 278 |
| 5.4. Zasady zbrojenia elementów rozciąganych. . . . .                             | 279 |
| 5.5. Przykłady obliczeń. . . . .                                                  | 280 |
| 6. ELEMENTY PODDANE DZIAŁANIU SIŁ POPRZECZNYCH. . . . .                           | 285 |
| 6.1. Podstawy teoretyczne. . . . .                                                | 285 |
| 6.1.1. Zależności ogólne. . . . .                                                 | 285 |
| 6.1.2. Mechanizm oporu przeciwko ścinaniu. . . . .                                | 290 |
| 6.1.3. Praca statyczna elementu bez zbrojenia i ze zbrojeniem poprzecznym . . . . | 293 |
| 6.1.4. Modele kratownicowe elementów ścinanych. . . . .                           | 296 |
| 6.2. Obliczanie elementów na ścinanie według PN-99. . . . .                       | 299 |
| 6.2.1. Założenia podstawowe. . . . .                                              | 299 |
| 6.2.2. Nośność na ścinanie odcinków pierwszego rodzaju. . . . .                   | 302 |
| 6.2.3. Wymiarowanie zbrojenia poprzecznego na odcinkach ścinania drugiego rodzaju | 304 |
| 6.2.4. Ścinanie między środkiem a płytą w belkach teowych. . . . .                | 311 |
| 6.2.5. Wymagania konstrukcyjne w obliczeniach zbrojenia na ścinanie. . . . .      | 313 |
| 6.2.6. Wymiarowanie zbrojenia na ścinanie. . . . .                                | 315 |
| 6.3. Przykłady obliczeń. . . . .                                                  | 322 |
| 7. ELEMENTY PRACUJĄCE NA PRZEBICIE . . . . .                                      | 331 |
| 7.1. Model obliczeniowy według Eurokodu 2. . . . .                                | 331 |
| 7.1.1. Założenia ogólne. . . . .                                                  | 331 |
| 7.1.2. Sprawdzanie stanu granicznego nośności na przebicie według Eurokodu 2 . .  | 335 |
| 7.2. Krajowe wymagania w zakresie obliczeń elementów na przebicie                 | 339 |
| 7.2.1. Nośność elementów na przebicie. . . . .                                    | 339 |
| 7.2.2. Zasady konstruowania zbrojenia na przebicie. . . . .                       | 343 |
| 7.3. Przykład obliczeniowy. . . . .                                               | 344 |
| 8. ELEMENTY SKRĘCANE . . . . .                                                    | 349 |
| 8.1. Zachowanie się elementów poddanych skręcaniu. . . . .                        | 349 |
| 8.2. Podstawy obliczeń elementów żelbetowych skręcanych . . . .                   | 354 |
| 8.2.1. Model kratownicy przestrzennej w obliczeniach na skręcanie. . . . .        | 354 |
| 8.2.2. Nośność elementów poddanych czystemu skręcaniu. . . . .                    | 359 |
| 8.2.3. Nośność na skręcanie w złożonych stanach obciążenia. . . . .               | 362 |
| 8.3. Zasady projektowania przekrojów poddanych skręcaniu . . . .                  | 364 |
| 8.4. Wymagania konstrukcyjne dla elementów zbrojonych na skrę-<br>canie. . . . .  | 366 |
| 8.5. Przykłady obliczeń. . . . .                                                  | 367 |

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9. ELEMENTY PRACUJĄCE NA DOCISK                                                | 375 |
| 9.1. Projektowanie według Eurokodu 2                                           | 375 |
| 9.2. Obliczanie strefy docisku według PN-99                                    | 376 |
| 9.2.1. Sprawdzanie nośności                                                    | 376 |
| 9.2.2. Projektowanie zbrojenia ze względu na docisk                            | 379 |
| 9.2.3. Konstruowanie zbrojenia w strefie docisku                               | 382 |
| 9.3. Przykład obliczeniowy                                                     | 383 |
| 10. RYSY W KONSTRUKCJACH Z BETONU                                              | 387 |
| 10.1. Podstawy obliczeń stanu zarysowania                                      | 387 |
| 10.1.1. Mechanizm pojawienia się rys                                           | 387 |
| 10.1.2. Zastosowanie teorii sprężystości w obliczeniach elementów zarysowanych | 390 |
| 10.1.3. Wymagania w zakresie zarysowania konstrukcji                           | 394 |
| 10.2. Wyznaczanie szerokości rys                                               | 397 |
| 10.2.1. Szerokość rys prostokątnych                                            | 397 |
| 10.2.2. Szerokość rys ukośnych                                                 | 406 |
| 10.3. Określanie minimalnego pola przekroju zbrojenia z uwagi na zarysowanie   | 408 |
| 10.4. Przykłady obliczeń                                                       | 411 |
| 11. UGIĘCIA ELEMENTÓW ŻELBETOWYCH                                              | 419 |
| 11.1. Kontrola ugięć                                                           | 419 |
| 11.2. Uproszczony sposób sprawdzania stanu granicznego ugięcia                 | 422 |
| 11.2.1. Obliczenia według Eurokodu 2                                           | 422 |
| 11.2.2. Obliczenia według PN-99                                                | 424 |
| 11.3. Obliczanie ugięć elementów żelbetowych                                   | 427 |
| 11.3.1. Założenia ogólne                                                       | 427 |
| 11.3.2. Ugięcia elementów niezarysowanych                                      | 429 |
| 11.3.3. Ugięcia elementów zarysowanych                                         | 433 |
| 11.3.4. Tok postępowania w obliczeniach ugięć elementów żelbetowych            | 438 |
| 11.4. Przykłady obliczeń                                                       | 442 |
| 12. NORMOWE ZASADY PROJEKTOWANIA USTROJÓW ŻELBETOWYCH                          | 449 |
| 12.1. Płyty żelbetowe                                                          | 449 |
| 12.1.1. Wymagania ogólne i zasady kształtowania                                | 449 |
| 12.1.2. Obliczanie i konstruowanie płyt jednokierunkowo zbrojonych             | 454 |
| 12.1.3. Obliczanie i konstruowanie prostokątnych płyt krzyżowo zbrojonych      | 461 |
| 12.2. Belki żelbetowe                                                          | 468 |
| 12.2.1. Kształtowanie belek                                                    | 468 |

|                                                                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 12.2.2. Obliczenia statyczne belek . . . . .                                                                                | 469        |
| 12.2.3. Zasady zbrojenia belek . . . . .                                                                                    | <b>471</b> |
| 12.2.4. Szczegóły konstrukcyjne belek . . . . .                                                                             | <b>475</b> |
| 12.3. Słupy żelbetowe niezwojone. . . . .                                                                                   | 479        |
| 12.3.1. Kształtowanie i zasady obliczeń. . . . .                                                                            | 479        |
| 12.3.2. Zbrojenie słupów. . . . .                                                                                           | 480        |
| 12.4. Krótkie wsporniki. . . . .                                                                                            | 482        |
| 12.4.1. Rozwiązania konstrukcyjne. . . . .                                                                                  | 482        |
| 12.4.2. Projektowanie zbrojenia krótkich wsporników. . . . .                                                                | <b>485</b> |
| 12.5. Dylatacje w konstrukcjach z betonu. . . . .                                                                           | 488        |
| 12.6. Ograniczanie zakresu uszkodzeń konstrukcji stropów w budyn-<br>kach poddanych działaniu obciążeń wyjątkowych. . . . . | 491        |
| 12.7. Projektowanie konstrukcji żelbetowej. . . . .                                                                         | 494        |
| <br>13. PROJEKTOWANIE ELEMENTÓW ZESPOLONYCH<br>Z BETONU. . . . .                                                            | <br>503    |
| 13.1. Założenia do projektowania konstrukcji zespolonych. . . . .                                                           | 503        |
| 13.1.1. Uwagi ogólne. . . . .                                                                                               | <b>503</b> |
| 13.1.2. Specyfika projektowania elementów prefabrykowanych. . . . .                                                         | 505        |
| 13.2. Projektowanie styków i połączeń w elementach zespolonych                                                              | 506        |
| 13.3. Nośności użytkowalność elementów zespolonych. . . . .                                                                 | 513        |
| 13.3.1. Zasady ogólne projektowania z uwagi na nośność. . . . .                                                             | <b>513</b> |
| 13.3.2. Zasady ogólne sprawdzania stanów granicznych użytkowalności. . . . .                                                | <b>514</b> |
| 13.4. Obliczanie i konstruowanie strefy podparcia elementów zespolo-<br>nych. . . . .                                       | 515        |
| <br>14. WYMAGANIA DODATKOWE W ZAKRESIE ZBROJENIA<br>KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH. . . . .                                        | <br>519    |
| 14.1. Wymagania dodatkowe dotyczące kotwienia zbrojenia . . . . .                                                           | 519        |
| 14.2. Zaginanie zbrojenia. . . . .                                                                                          | 523        |
| 14.3. Łączenie zbrojenia. . . . .                                                                                           | 524        |
| 14.4. Stosowanie prętów żebrowanych dużych średnic. . . . .                                                                 | 530        |
| 14.5. Stosowanie wiązek z prętów żebrowanych. . . . .                                                                       | 531        |
| <br>ZAŁĄCZNIK<br>TABLICE OGÓLNEGO STOSOWANIA. . . . .                                                                       | <br>533    |
| <br>BIBLIOGRAFIA . . . . .                                                                                                  | <br>547    |