
Spis treści

Wykaz oznaczeń	9
1. Wprowadzenie	13
2. Bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji	17
2.1. Podstawy formalno-prawne	17
2.2. Pożar w budynku	20
2.2.1. Powstawanie, rozwój i przebieg pożaru	20
2.2.2. Normowe zależności czas–temperatura	26
2.2.3. Zaawansowane normowe modele pożaru	28
2.2.4. Modelowanie rzeczywistego przebiegu pożaru	31
2.3. Odporność ogniowa konstrukcji.	32
2.3.1. Istota pojęcia odporność ogniowa, stawiane wymagania	32
2.3.2. Określenie odporności ogniowej na podstawie badań	35
2.3.3. Określenie odporności ogniowej na podstawie wymagań eurokodów	39
3. Pożar jako wyjątkowa sytuacja projektowa	45
3.1. Istota rozpatrywania pożaru jako wyjątkowej sytuacji projektowej, etapy analizy	45
3.2. Scenariusz pożarowy	48
3.3. Oddziaływania mechaniczne w sytuacji pożaru.	52
3.4. Temperatura w przekrojach elementów narażonych na warunki pożarowe	57
4. Wpływ wysokiej temperatury na właściwości mechaniczne stali zbrojeniowej	63
4.1. Model normowy	63
4.2. Odształcenia zbrojenia w temperaturze pożarowej, wykorzystanie modelu normowego do zaawansowanych analiz konstrukcji	67
4.3. Wykorzystanie modelu normowego do obliczeń prowadzonych metodami uproszczonymi	76
4.4. Model normowy w świetle wyników badań i innych wymagań	79

5. Wpływ wysokiej temperatury na beton	87
5.1. Badania betonu w wysokiej temperaturze	87
5.2. Cechy mechaniczne ogrzewanego betonu w ujęciu normowym	90
5.3. Przemiany zachodzące w betonie pod wpływem działania wysokiej temperatury	94
5.4. Wpływ wytrzymałości betonu na jego reakcję na działanie wysokiej temperatury	97
5.5. Wpływ rodzaju kruszywa i cementu	99
5.6. Odpryskiwanie termiczne betonu	101
5.7. Odkształcalność betonu w warunkach pożarowych	107
5.8. Wytrzymałość ogrzewanego betonu po ochłodzeniu	118
5.9. Wpływ naprężeń ściskających występujących w ogrzewanym betonie	121
5.10. Zmniejszenie wytrzymałości ogrzewanego betonu wg zaleceń amerykańskich	123
6. Uprozczone metody obliczania nośności elementów żelbetowych	125
6.1. Uwagi ogólne	125
6.2. Metoda Izotermy 500°C	126
6.2.1. Założenia	126
6.2.2. Określenie położenia izotermy 500°C i temperatury zbrojenia	130
6.2.3. Określenie nośności przekroju zredukowanego	136
6.3. Pozostałe, uproszczone metody obliczeń	138
6.3.1. Metoda Strefowa	138
6.3.2. Uprozczone metody obliczeń elementów ścinanych i skręcanych	140
6.3.3. Uproszczona metody obliczeń belek i płyt	141
7. Zapewnienie odporności ogniowej elementów zginanych	143
7.1. Projektowanie przy wykorzystaniu tablic	143
7.1.1. Podstawowe założenia i zakres stosowania tablic podanych w eurokodzie	143
7.1.2. Płyty	145
7.1.3. Belki	147
7.1.4. Tablice podane w normie amerykańskiej	150
7.2. Obliczenie nośności przekroju elementów zginanych metodą Izotermy 500°C	152
7.2.1. Równania równowagi przekroju	152
7.2.2. Graniczna wysokość strefy ściskanej przekroju	155
7.2.3. Odległość osiowa zbrojenia, jaką należy przyjąć do obliczeń	160
7.3. Przykłady obliczeń nośności ogniowej elementów zginanych	163
7.3.1. Uwagi ogólne	163
7.3.2. Płyta jednoprzęsłowa ogrzewana od strony strefy rozciąganej	163
7.3.3. Płyta wspornikowa ogrzewana od spodu (od strony strefy ściskanej)	167
7.3.4. Stosunkowo słabo zbrojona belka żelbetowa ogrzewana od strony strefy rozciąganej	170

7.3.5. Belka wspornikowa ogrzewana od spodu (od strony strefy ściskanej)	173
7.3.6. Belka wspornikowa wg punktu 7.3.5. – obliczenia metodą Strefową	176
7.3.7. Intensywnie zbrojona belka żelbetowa ogrzewana ze wszystkich stron	177
7.3.8. Obliczenia belki wg punktu 7.3.7 przy założeniu, że ogrzewane jest tylko zbrojenie	182
7.3.9. Belka dwuprzęsłowa	185
7.4. Reakcja elementów zginanych na warunki pożarowe w świetle wyników badań	188
7.4.1. Uwagi ogólne	188
7.4.2. Zmniejszenie nośności elementów	188
7.4.3. Deformacje elementów i zmiany ich sztywności	194
7.5. Wskazówki do prowadzenia zaawansowanych analiz konstrukcji statycznie niewyznaczalnych	198
8. Zapewnienie odporności ogniowej elementów ściskanych	201
8.1. Projektowanie przy wykorzystaniu tablic	201
8.1.1. Podstawowe założenia	201
8.1.2. Metody podane w tekście eurokodu	201
8.1.3. Prognozowanie nośności ogniowej słupów z uwzględnieniem efektów drugiego rzędu wg eurokodu	204
8.1.4. Wymagania stawiane w przepisach amerykańskich	205
8.2. Obliczenia nośności słupów metodą Izotermy 500°C	206
8.2.1. Założenia i równania równowagi przekroju	206
8.2.2. Dodatkowe problemy mogące powstać podczas określenia nośności elementów ściskanych narażonych na warunki pożarowe	210
8.3. Przykłady obliczeń nośności ogniowej elementów ściskanych	214
8.3.1. Uwagi ogólne	214
8.3.2. Przekrój słupa ogrzewanego ze wszystkich stron, obciążonego siłą usytuowaną w pobliżu osi	214
8.3.3. Przekrój słupa ogrzewanego ze wszystkich stron, obciążonego siłą usytuowaną poza przekrojem	223
8.3.4. Przekrój słupa ogrzewanego od strony zbrojenia mniej ściskanego, obciążonego siłą usytuowaną w pobliżu osi	227
8.3.5. Przekrój słupa ogrzewanego od strony zbrojenia bardziej ściskanego, obciążonego siłą usytuowaną w pobliżu osi	232
8.3.6. Uproszczona analiza wpływu efektów drugiego rzędu na słup narażony na warunki pożarowe, przeprowadzona na podstawie połączenia założeń metody Izotermy 500°C z założeniami metody Nominalnej sztywności	236
8.3.7. Uproszczona analiza wpływu efektów drugiego rzędu na słup narażony na warunki pożarowe przeprowadzona na podstawie połączenia założeń metody Izotermy 500°C z założeniami metody Nominalnej krzywizny	244

8.3.8. Przekrój słupa o większych wymiarach przekroju, ogrzewanego ze wszystkich stron, obciążonego siłą usytuowaną w pobliżu osi	247
8.3.9. Przekrój słupa o dużych wymiarach przekroju, ogrzewanego ze wszystkich stron, obciążonego siłą usytuowaną w pobliżu osi	254
8.4. Wyniki przykładowych obliczeń w świetle Wymagań tabelarycznych i wyników badań	260
8.4.1. Obliczenia nośności przekroju słupa o wymiarach 30 × 30 cm	260
8.4.2. Obliczenia z uwzględnieniem wpływu efektów drugiego rzędu wg eurokodów	262
8.4.3. Wpływ wymiarów przekroju słupa na wynik obliczeń jego nośności ogniowej	265
8.4.4. Wyniki obliczeń w świetle Wymagań tabelarycznych uwzględniających wyboczenie	266
8.4.5. Badania eksperymentalne nośności ogniowej słupów	267
8.5. Uwagi końcowe	274
9. Nośność ogniova strefy przypodporowej	277
9.1 Ścinanie	277
9.1.1. Uwagi ogólne	277
9.1.2. Przykład obliczenia nośności ogniowej na ścinanie belki swobodnie podpartej ogrzewanej od spodu	279
9.1.3. Przykład obliczenia nośności ogniowej na ścinanie belki wspornikowej ogrzewanej od spodu	281
9.2. Przebicie	283
9.2.1. Wymagania normowe	283
9.2.2. Nośność ogniowa na przebicie w świetle doświadczeń praktycznych, wyników badań i obliczeń	284
9.2.3. Zapewnienie nośności ogniowej na przebicie przy długim czasie pożaru	287
9.2.4. Obliczeniowa ocena nośności na przebicie w warunkach pożarowych metodami uproszczonymi.	288
Literatura	293