

Spis treści

Wprowadzenie	9
Przedmowa do wydania polskiego	11
1. Koncepcja i zastosowanie poradnika	15
1.1. Koncepcja i struktura poradnika	15
1.2. Podstawowe wskazówki dotyczące stosowania tego poradnika	15
1.3. Analiza jakościowa	17
1.4. Analiza ilościowa	17
1.5. Porównanie wyników z wymaganiami	18
1.6. Prezentacja i interpretacja wyników	19
2. Charakterystyka budynku	21
2.1. Wprowadzenie	21
2.2. Struktura budynku	21
2.3. Przeznaczenie budynku i jego użytkowanie	22
2.4. Infrastruktura ochrony przeciwpożarowej	22
2.5. Wpływ otoczenia	23
2.6. Użytkownicy	23
3. Cele ochrony, wymagania funkcjonalne i kryteria skuteczności działania	25
3.1. Wprowadzenie	25
3.2. Związek między zagrożeniami wywołanymi przez pożary, scenariuszami pożarów i celami ochrony	26
3.3. Cele ochrony	28
3.3.1. Ogólne cele ochrony	28
3.3.2. Cele ochrony prawa publicznego i wywodzące się z nich wymagania funkcjonalne	28
3.4. Dalsze cele ochrony	30
3.5. Realizacja wymagań funkcjonalnych poprzez spełnienie kryteriów wydajnościowych	31
3.5.1. Określenie celów ochrony za pomocą przepisów technicznych	31
3.5.2. Konkretnie wymagania przepisów budowlanych	32
3.5.3. Powiązanie celów ochrony, weryfikacji i kryteriów wydajności	33
3.6. Uwagi dotyczące poziomu bezpieczeństwa podczas weryfikacji z pomocą poradnika	35
3.7. Literatura	36
4. Scenariusze pożarów i pożary obliczeniowe	37
4.1. Wprowadzenie	37
4.2. Scenariusze pożarów obliczeniowych	38
4.2.1. Wprowadzenie	38
4.2.2. Zasady identyfikacji odpowiednich scenariuszy pożaru obliczeniowego	41
4.2.3. Scenariusze pożarów obliczeniowych pod kątem oceny użyteczności dróg ewakuacyjnych	43
4.2.4. Scenariusze pożarów obliczeniowych uwzględniające działania ratownicze prowadzone przez straż pożarną	44
4.2.5. Scenariusze pożarów obliczeniowych pod kątem gaszenia pożaru przez straż pożarną	44
4.2.6. Scenariusze pożarowe dla projektu elementu budowli lub konstrukcji nośnej	44
4.2.7. Scenariusze pożarów obliczeniowych w zakresie oceny ryzyka związanego z ochroną mienia	46
4.2.8. Pytania specjalne	47
4.2.8.1. Pożary miejscowe (ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia)	47
4.2.8.2. Uwzględnienie wiatru i prądów powietrza w symulacjach pożaru	47
4.3. Pożary obliczeniowe	48
4.3.1. Przebieg pożaru i zasady jego modelowania	48
4.3.1.1. Ogólne	48
4.3.1.2. Szybkość wydzielania ciepła	50
4.3.1.3. Pożary obliczeniowe oparte na próbach pożarów specyficznych dla danego obiektu	50
4.3.1.4. Projektowanie pożarów z wykorzystaniem bezpośredniej specyfikacji skutków pożaru	50
4.3.1.5. Pożary pojedynczych obiektów	51
4.3.1.6. Inicjatory zaplonu określone normatywnie	51

4.3.2. Podejścia do pożarów obliczeniowych	51
4.3.2.1. Model t^2 dla fazy rozwoju pożaru	51
4.3.2.2. Znaczenie geometrycznego modelu rozprzestrzeniania się powietrza dla fazy rozwoju pożaru	54
4.3.2.3. Opis fazy pożaru rozwiniętego	55
4.3.3. Pożary obliczeniowe zdefiniowane normatywnie	59
4.3.3.1. Ogólne	59
4.3.3.2. Pożary obliczeniowe zgodne z krzywą tlenia	60
4.3.3.3. Pożary obliczeniowe dla fazy pożaru rozwiniętego	60
4.3.3.4. Uproszczony model naturalnego pożaru służący do projektowania elementów budowlanych	61
4.3.4. Rozgorzenie	62
4.3.5. Pożary obliczeniowe specyficzne dla małych obiektów pożarowych	64
4.3.6. Wpływ procesów gaszenia na przebieg pożaru	64
4.3.7. Pożary obliczeniowe w języku programowania	65
4.4. Literatura	66
Załącznik do rozdziału 4	69
A4.1. Uwagi wstępne	69
A4.2. Wartości orientacyjne służące zdefiniowaniu pożarów obliczeniowych	69
5. Modele symulacyjne pożaru	77
5.1. Wprowadzenie	77
5.1.1. Przegląd	77
5.1.2. Cel modelowania pożaru	77
5.2. Podstawy modelowania pożarów	78
5.2.1. Wprowadzenie	78
5.2.2. Podstawy pożaru	78
5.2.3. Założenia modelu i uproszczenia	81
5.2.4. Modele matematyczne	82
5.2.5. Modele eksperymentalne	83
5.3. Opis modeli matematycznych	83
5.3.1. Wprowadzenie	83
5.3.2. Korelacja empiryczna	84
5.3.3. Model pożaru rozwiniętego	84
5.3.3.1. Wprowadzenie	84
5.3.3.2. Bilans energii i równanie bilansu masy	86
5.3.4. Modele strefowe	87
5.3.4.1. Modele wielostrefowe obejmujące wiele pomieszczeń	90
5.3.4.2. Ogólna ocena modeli strefowych	90
5.3.5. Modele CFD	91
5.3.5.1. Dyskretyzacja przestrzenna i czasowa	91
5.3.5.2. Warunki brzegowe	92
5.3.5.3. Modelowanie turbulencji	94
5.3.5.4. Modelowanie spalania	94
5.3.5.5. Modelowanie promieniowania	97
5.4. Walidacja i weryfikacja modeli matematycznych	98
5.4.1. Ogólne zagadnienia	98
5.4.2. Ocena zdolności prognozowania	100
5.4.2.1. Ogólne zasady	100
5.4.2.2. Niepewności charakterystyczne	101
5.4.2.3. Metodologia analizy szeregów czasowych z eksperymentów i symulacji	102
5.4.3. Ciągła integracja	104
5.4.3.1. Wprowadzenie	104
5.4.3.2. Ciągła integracja na przykładzie FDS	104
5.4.3.3. Zadania weryfikacyjne	104
5.4.3.4. Zadania walidacyjne	105
5.5. Aplikacja modelu	107
5.5.1. Wprowadzenie	107
5.5.2. Wybór scenariuszy	108
5.5.3. Wybór typu modelu	108
5.5.4. Interpretacja wyników	111
5.5.5. Wymagania dotyczące dokumentacji	111
5.5.6. Przykłady ograniczeń aplikacji	113
5.6. Skutki wybranych liczbowych i fizycznych warunków brzegowych	116
5.6.1. Wprowadzenie	116
5.6.2. Wybór rozdzielczości siatki	116
5.6.3. Wybór kroku czasowego	117
5.6.4. Strumienie przepływu	117

5.6.5. Uwzględnienie wiatru	118
5.6.6. Instalacje tryskaczowe	119
5.7. Literatura	120
Załącznik do rozdziału 5	125
A5.1. Empiryczne modelowanie płomieni i smugi dymu	125
A5.1.1. Wprowadzenie	125
A5.1.2. Strumień sufitowy	127
A5.1.3. Temperatury kolumny pożaru	129
A5.2. Opis modeli doświadczalnych	135
A5.2.1. Wprowadzenie	135
A5.2.2. Pojęcie podobieństwa	135
A5.2.3. Właściwości kolumny pożarowej i liczba Archimedes'a	137
A5.2.4. Zakres i zasady odwzorowania	138
A5.2.5. Instrukcje dotyczące modelowania, skali modelu i projektowania modelu	139
A5.2.6. Cechy szczególne określonych typów modeli	140
A5.2.7. Pożar w mniejszej skali z wiernym odwzorowaniem temperatury	140
A5.2.8. Eksperymenty w skali 1:1 (eksperymenty obiektowe)	140
A5.2.9. Cechy szczególne badań w tunelu aerodynamicznym	141
A5.2.10. Podsumowanie	142
A5.3. Przykłady do obliczeń z zastosowaniem modeli matematycznych	142
A5.3.1. Uwagi wstępne	142
A5.3.2. Temperatura kolumny pożaru i strumień sufitowy	142
A5.3.3. Przykłady i doświadczenia przydatne do wykonania obliczeń porównawczych	145
A5.4. Przykład walidacji PRISME DOOR	147
A5.4.1. Przeprowadzone eksperymenty	147
A5.4.2. Przeprowadzone symulacje	148
A5.4.3. Struktura modelu	149
A5.4.4. Zasady oceny	150
A5.4.5. Wyniki walidacji	150
6. Weryfikacja właściwości pożarowych elementów budowlanych i konstrukcji nośnych	153
6.1. Wprowadzenie	153
6.2. Certyfikacja zgodnie z częściami Eurokodów dotyczącymi bezpieczeństwa pożarowego	153
6.2.1. Wprowadzenie	153
6.2.2. Regulacje krajowe	154
6.2.3. Wprowadzenie dotyczące nadzoru budowlanego	155
6.2.4. Metodyka projektowania	155
6.3. Działania w czasie pożaru	156
6.3.1. Postępowanie	156
6.3.2. Oddziaływanie termiczne	156
6.3.3. Oddziaływanie mechaniczne	161
6.4. Właściwości materiału	163
6.4.1. Właściwości termiczne materiału	163
6.4.1.1. Ogólne	163
6.4.1.2. Przewodność cieplna betonu	165
6.4.2. Mechaniczne właściwości materiału	166
6.4.2.1. Wprowadzenie	166
6.4.2.2. Zależność odkształcenia od naprężenia i odkształcenia termiczne	167
6.4.2.3. Kryteria niepowodzenia	169
6.5. Postępowanie projektowe	171
6.5.1. Tabelaryczna metoda projektowania	171
6.5.2. Uprozczone procedury projektowania	173
6.5.2.1. Wprowadzenie	173
6.5.2.2. Eurokod 2, część 1-2	173
6.5.2.3. Eurokod 3, część 1-2	174
6.5.2.4. Eurokod 4, część 1-2	176
6.5.2.5. Eurokod 5, część 1-2	177
6.5.2.6. Podsumowanie uproszczonych procedur projektowania	180
6.5.3. Rozszerzone procedury projektowania	180
6.5.3.1. Wprowadzenie	180
6.5.3.2. Obniżające się temperatury elementów budowlanych	180
6.5.3.3. Właściwości termiczne materiałów okładzin przeciwpożarowych i reaktywnych systemów ochrony przeciwpożarowej	184
6.5.4. Instrukcja zastosowania	185
6.5.4.1. Ogólne	185
6.5.4.2. Eurokod 2, część 1-2	186

6.5.4.3. Eurokod 3, część 1-2	187
6.5.4.4. Eurokod 4, część 1-2	188
6.5.4.5. Eurokod 5, część 1-2	188
6.5.5. Ocena procedur obliczeniowych i weryfikacja dowodów/wyników	189
6.5.5.1. Wprowadzenie	189
6.5.5.2. Weryfikacja programu	190
6.5.5.3. Walidacja	190
6.5.5.4. Testowanie na przykładach kalibracji	190
6.5.5.5. Odchylenia graniczne	191
6.5.5.6. Zbiór przykładów w załączniku krajowym	191
6.5.5.7. Obliczanie pierścienia	192
6.6. Odpryski betonu	193
6.7. Specjalne metody konstrukcyjne	194
6.7.1. Beton o wysokiej i ultrawysokiej wytrzymałości	194
6.7.2. Beton samozagęszczalny	196
6.7.3. Beton lekki	196
6.7.4. Beton węglowy, beton zbrojony tkaniną z włókien węglowych	196
6.7.5. Stal zbrojeniowa o wysokiej wytrzymałości	197
6.7.6. Stal konstrukcyjna o wysokiej wytrzymałości	197
6.7.7. Stal ocynkowana	198
6.7.8. Słupy zespolone (kompozytowe) z profilami nastawnymi	198
6.7.9. Stropy zespolone drewniano-betonowe	199
6.8. Dowody zgodne z DIN 4102 część 4	200
6.9. Budownictwo przemysłowe	201
6.10. Podsumowanie	203
6.11. Literatura	204
Załącznik do rozdziału 6	209
A6.1. Obliczanie pierścienia	209
A6.1.1. Słup stalowy (podpora)	209
A6.1.2. Słup żelbetowy	211
7. Urządzenia techniczne i gaśnicze stosowane w ochronie przeciwpożarowej	215
7.1. Wprowadzenie	215
7.2. Systemy sygnalizacji pożarowej	217
7.2.1. Ogólne	217
7.2.2. Rodzaje automatycznych systemów sygnalizacji pożarowej	217
7.2.3. Wpływ systemów sygnalizacji pożarowej na scenariusz pożaru	218
7.2.4. Niezawodność systemów sygnalizacji pożarowej	220
7.2.5. Skuteczność systemów sygnalizacji pożarowej	221
7.2.6. Uzupelnienie właściwości ppoż. budowlanych elementów konstrukcyjnych przez systemy sygnalizacji pożarowej	225
7.3. Systemy gaśnicze	225
7.3.1. Ogólne	225
7.3.2. Rodzaje instalacji gaśniczych	225
7.3.2.1. Ogólne	225
7.3.2.2. Systemy gaszenia mgłą wodną (technologia jednoskładnikowa)	226
7.3.2.3. Instalacje tryskaczowe	227
7.3.3. Wpływ systemów gaśniczych na scenariusz pożaru	228
7.3.4. Niezawodność systemu gaśniczego	232
7.3.5. Skuteczność systemów gaśniczych	233
7.3.6. Uzupelnienie właściwości ppoż. elementów konstrukcyjnych przez systemy gaśnicze	236
7.4. Instalacje do odprowadzania dymu i ciepła	236
7.4.1. Ogólne	236
7.4.2. Rodzaje systemów oddymiania i odprowadzania ciepła	237
7.4.2.1. Naturalny system odprowadzania dymu i ciepła	237
7.4.2.2. Mechaniczny system odprowadzania dymu i ciepła	238
7.4.2.3. Systemy różnicowania ciśnień	239
7.4.2.4. Wyciągi ciepła	240
7.4.3. Działanie systemów oddymiania i odprowadzania ciepła	240
7.4.4. Niezawodność systemu odprowadzania dymu i ciepła	241
7.4.5. Skuteczność systemów oddymiania i odprowadzania ciepła	242
7.4.6. Uzupelnienie właściwości ppoż. budowlanych elementów konstrukcyjnych przez systemy oddymiania i odprowadzania ciepła	244
7.5. Uruchamianie urządzeń przeciwpożarowych	245
7.5.1. Sposoby uruchamiania	245
7.5.2. Czasy wyzwalania	246

7.5.2.1. Ogólne	246
7.5.2.2. Szklana ampulka jako element uruchamiający	246
7.5.2.3. Elektroniczne elementy zwalniające	246
7.6. Zwalczanie pożarów	247
7.6.1. Wpływ działań gaśniczych na scenariusz pożaru	247
7.6.1.1. Wprowadzenie	247
7.6.1.2. Okres pierwszej pomocy ratowniczej	249
7.6.1.3. Czas interwencji	249
7.6.1.4. Uproszczony model gaszenia	251
7.6.2. Niezawodność środków gaśniczych	252
7.6.3. Skuteczność działań gaśniczych	254
7.6.4. Uzupełnienie właściwości ppoż. budowlanych środków ochrony przeciwpożarowej przez szczególnie skuteczne środki gaśnicze	256
7.7. Literatura	256
8. Bezpieczeństwo osób na drogach ewakuacyjnych	261
8.1. Kryteria weryfikacji bezpieczeństwa osób	261
8.2. Efekt zasłaniania światła przez dym	262
8.3. Odległość, z której rozpoznawane są znaki bezpieczeństwa	263
8.4. Toksyczne działanie gazów pożarowych	266
8.5. Efekt termiczny spalin	269
8.6. Wartości odniesienia do oceny bezpieczeństwa osób	271
8.7. Wydzielanie się dymu	274
8.8. Literatura	276
9. Analiza przepływu osób z zastosowaniem metod obliczeniowych	279
9.1. Wprowadzenie	279
9.2. Obliczanie czasów ewakuacji	280
9.3. Czasy reakcji	280
9.4. Modele przepływu osób	283
9.4.1. Ogólne	283
9.4.2. Szacowanie czasu ewakuacji poprzez analizę wydajności	284
9.4.3. Makroskopowe modele dynamicznego przepływu	286
9.4.4. Modele indywidualne	288
9.4.5. Wybór modelu i zasady stosowania	289
9.4.6. Walidacja	290
9.5. Aspekty zachowania	291
9.5.1. Ogólne	291
9.5.2. Wybór drogi ewakuacji	291
9.5.3. Postępowanie w przypadku bezpośredniego zagrożenia	292
9.6. Zatory	292
9.6.1. Ogólne	292
9.6.2. Definicja zatoru	293
9.6.3. Identyfikacja zatoru w modelach przepływu osób	293
9.6.4. Gęstość osób	294
9.6.5. Ocena zatorów	294
9.7. Liczba osób	294
9.8. Literatura	296
10. Metody oceny ryzyka i koncepcja bezpieczeństwa	299
10.1. Wprowadzenie	299
10.2. Półilościowe metody oceny ryzyka	300
10.3. Metody ilościowe oceny ryzyka	302
10.3.1. Wprowadzenie	302
10.3.2. Analiza drzewa zdarzeń (ETA)	302
10.3.3. Przeprowadzenie ilościowej analizy ryzyka	304
10.4. Koncepcja bezpieczeństwa zabezpieczeń przeciwpożarowych konstrukcji	305
10.4.1. Wymagania wstępne i podstawy	305
10.4.2. Prawdopodobieństwo wystąpienia szkody pożarowej	307
10.4.3. Wymagana niezawodność konstrukcji w przypadku pożaru	310
10.4.4. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa stosowane do projektowania ochrony przeciwpożarowej konstrukcji	311
10.4.5. Uwzględnienie różnych scenariuszy pożarowych	313
10.5. Koncepcja bezpieczeństwa w zakresie weryfikacji ewakuacji w przypadku pożaru	314
10.5.1. Podstawy weryfikacji zorientowanej na wydajność	314
10.5.2. Symulacja pożaru i ewakuacji	316
10.5.3. Kryteria skuteczności działania	316

10.5.4. Scenariusze pożarów i pożary obliczeniowe	317
10.5.5. Probabilistyczna kwantyfikacja poziomu bezpieczeństwa	318
10.5.6. Przykład przeliczeń probabilistycznych przy użyciu prostych modeli	319
10.5.7. Wpływ systemu przeciwpożarowego na przykładzie instalacji sygnalizacji pożarowej	321
10.5.8. Przykład przeliczeń probabilistycznych przy modelach kompleksowych	323
10.5.9. Kryteria wydajności i wymagania dotyczące niezawodności	324
10.6. Dowód skuteczności działań gaśniczych	325
10.7. Literatura	327
Załącznik 1. Terminy, symbole i jednostki	331
A1.1. Objaśnienia terminów	331
A1.2. Symbole i jednostki	337
Załącznik 2. Przykład zastosowania	345
A2.1. Wprowadzenie	345
A2.2. Interesy i cele ochronne	348
A2.3. Scenariusze pożarowe i pożary obliczeniowe	349
A2.3.1. Wprowadzenie	349
A2.3.2. Scenariusz pożaru obliczeniowego nr 1 – ocena konstrukcji nośnej	349
A2.3.2.1. Procedura	349
A2.3.2.2. Prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru powodującego zniszczenia	350
A2.3.2.3. Wymagana niezawodność projektu ochrony przeciwpożarowej konstrukcji	352
A2.3.2.4. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa projektu ochrony przeciwpożarowej konstrukcji	353
A2.3.2.5. Pożar obliczeniowy dla projektu konstrukcji nośnych	355
A2.3.3. Scenariusz pożaru obliczeniowego nr 2 – ocena ewakuacji audytorium	358
A2.3.3.1. Procedura	358
A2.3.3.2. Wymagana niezawodność weryfikacji ewakuacji w przypadku pożaru	358
A2.3.3.3. Współczynniki bezpieczeństwa do weryfikacji ewakuacji w przypadku pożaru	359
A2.3.3.4. Pożar obliczeniowy w wolnej przestrzeni	360
A2.4. Określenie skutków pożaru dla projektu konstrukcyjnego	360
A2.4.1. Pytania	360
A2.4.2. Wybór rodzaju modelu	361
A2.4.3. Wykonane obliczenia	362
A2.4.4. Wybrane wyniki	363
A2.4.5. Wnioski dotyczące określenia skutków pożaru	364
A2.5. Projektowanie ochrony przeciwpożarowej konstrukcji	365
A2.5.1. Konstrukcja nośna i efekty oddziaływania	365
A2.5.2. Prawa dotyczące wytrzymałości materiałów	369
A2.5.3. Projektowanie konstrukcji metodą uproszczoną wg Eurokodu 3, część 1-2	371
A2.5.3.1. Wymiarowanie na poziomie temperatury	371
A2.5.3.2. Wymiarowanie elementów narażonych na utratę stateczności (w tym przypadku słupy)	373
A2.5.4. Projektowanie konstrukcji metodą projektowania ogólnego według Eurokodu 3, część 1-2	377
A2.5.4.1. Określanie temperatur elementów konstrukcyjnych	377
A2.5.4.2. Analiza konstrukcyjna	379
A2.6. Dokumentowanie bezpieczeństwa osób	384
A2.6.1. Formułowanie celów	384
A2.6.2. Kryteria wykazywania zgodności z celami ochrony	384
A2.6.3. Scenariusze i symulacje pożarów	384
A2.6.3.1. Weryfikacja warstwy ubogiej w dym lub gęstości optycznej (utrudnienie ucieczki) na przykładzie pożaru w audytorium	385
A2.6.3.2. Pożar w sali wykładowej w celu potwierdzenia ułamkowej dawki skutecznej (FED) (utrudnienie ucieczki)	386
A2.6.4. Modelowanie ewakuacji	387
A2.6.4.1. Podstawa interpretacji	387
A2.6.4.2. Procedura	388
A2.6.4.3. Obliczanie czasów przemieszczania	389
A2.6.4.4. Porównanie wyników	400
A2.6.5. Uwagi końcowe	400
A2.7. Literatura	402