

# Spis treści

Wstęp .....	11
<b>CZĘŚĆ 1. BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYKI JĄDROWEJ. UJĘCIE PRAKTYCZNE I TEORETYCZNE .....</b>	<b>13</b>
1. Bezpieczeństwo energetyki jądrowej w aspekcie ratownictwa i bezpieczeństwa pożarowego .....	15
1.1. Wstęp .....	15
1.2. Działania ratownicze prowadzone w związku z wystąpieniem zagrożenia promieniowaniem lub skażeniem promieniotwórczym. ....	17
1.3. Nauka na błędach .....	21
1.4. Podsumowanie .....	24
2. Wprowadzenie do energetyki jądrowej .....	27
2.1. Wprowadzenie do energetyki jądrowej .....	27
2.2. Ujarzmienie mocy atomu .....	27
2.3. Awaria w elektrowni w Czarnobylu – punkt zwrotny w rozwoju energetyki jądrowej w Europie? .....	30
2.4. Co dalej z energetyką jądrową w Polsce? .....	33
3. Elementy fizyki jądrowej .....	39
3.1. Atomowa struktura budowy materii .....	39
3.1.1. Rozmiary jąder atomowych, ładunek jądra. ....	39
3.1.2. Jądro atomowe, liczba atomowa, liczba masowa. ....	41
3.1.3. Problem składników jądra .....	43
3.2. Jądro atomowe i klasyfikacja przemian promieniotwórczych .....	45
3.2.1. Składniki jądra, protony i neutrony .....	45
3.2.2. Rozmiary i kształty jąder .....	46
3.2.3. Spontaniczne przemiany jądrowe .....	48
3.2.4. Rozpady $\beta$ , widma $\beta$ , neutrino .....	50
3.2.5. Przemiana $\gamma$ .....	53
3.2.6. Rozpady $\alpha$ .....	55
3.2.7. Zastosowania izotopów promieniotwórczych. ....	57
3.3. Energie wiązania jąder i inne przemiany jądrowe .....	58
3.3.1. Masy i energie wiązania jąder – deficyt masy .....	59
3.3.2. Ścieżka stabilności. ....	60
3.3.3. Szeregi promieniotwórcze .....	62
3.4. Reakcje jądrowe .....	64
3.4.1. Przykłady „historycznych” reakcji jądrowych .....	65

3.4.2. Reakcja rozszczepienia . . . . .	66
4. Fizyka reaktorów jądrowych i paliwa jądrowe . . . . .	71
4.1. Źródła energii jądrowej. . . . .	71
4.1.1. Energia rozszczepienia . . . . .	71
4.1.2. Reakcja łańcuchowa . . . . .	73
4.1.3. Reaktor jądrowy . . . . .	74
4.2. Paliwa jądrowe . . . . .	76
4.2.1. Zasoby paliwa jądrowego . . . . .	76
4.2.2. Ruda uranowa i jej konwersja. . . . .	78
4.2.3. Wzbogacanie uranu . . . . .	78
4.2.4. Zestawy paliwowe . . . . .	79
4.2.5. Napromienianie paliwa – wypalanie. . . . .	80
4.2.6. Recykling paliwa jądrowego . . . . .	81
5. Budowa i bezpieczeństwo pożarowe elektrowni jądrowych . . . . .	83
5.1. Dlaczego straż pożarna powinna znać budowę elektrowni jądrowej? . . . . .	83
5.2. Budowa elektrowni jądrowej. . . . .	84
5.2.1. Układy odbioru ciepła w typowym ciśnieniowym reaktorze wodnym . . . . .	86
5.2.2. Układy regulacji mocy reaktora . . . . .	87
5.2.3. Źródła zagrożenia w elektrowni jądrowej . . . . .	88
5.2.4. Bariery powstrzymujące uwalnianie substancji promieniotwórczych. . . . .	89
5.3. Zasady bezpieczeństwa jądrowego . . . . .	91
5.3.1. Zasady ogólne . . . . .	91
5.3.2. Zasada głębokiej obrony. . . . .	92
5.4. Konstrukcja EJ zapewniająca bezpieczeństwo jądrowe . . . . .	92
5.4.1. Naturalne sprzężenie zwrotne regulujące moc reaktora . . . . .	92
5.4.2. Układ wyłączenia reaktora oparty na działaniu siły ciężenia . . . . .	94
5.4.3. Zalanie rdzenia wodą chłodzącą w przypadku rozerwania obiegu pierwotnego . . . . .	95
5.4.4. Różnorodność układów . . . . .	96
5.4.5. Rozdzielenie przestrzenne układów. . . . .	98
5.4.6. Odporność na pożar, zalanie wodą, wstrząsy sejsmiczne i warunki otoczenia . . . . .	98
5.4.7. Obudowa bezpieczeństwa – najważniejsza bariera zatrzymująca radioaktywność. . . . .	100
5.5. Elektrownie jądrowe III generacji – odporne nawet na najcięższe awarie . . . . .	102
5.5.1. Reaktor EPR – odporny na wyciek stopionego rdzenia ze zbiornika reaktora . . . . .	102
5.5.2. Reaktor AP 1000 – skuteczne chłodzenie rdzenia nawet przy długotrwałym zaniku zasilania elektrycznego . . . . .	104

5.5.3.	Obudowa bezpieczeństwa reaktora AP1000 zapewnia ochronę nawet przy braku zasilania przez trzy dni. . . . .	106
5.5.4.	Podwójna obudowa reaktora EPR z układem filtracji – ostateczna bariera bezpieczeństwa. . . . .	109
5.5.5.	Rozmieszczenie przestrzenne reaktora EPR – ochrona przed atakami terrorystycznymi. . . . .	110
5.6.	Ochrona przeciwpożarowa . . . . .	110
5.6.1.	Bezpieczeństwo pożarowe w elektrowni jądrowej . . . . .	110
5.6.2.	System ochrony przeciwpożarowej . . . . .	111
5.6.3.	Układ EJ dla ochrony przeciwpożarowej . . . . .	113
5.6.4.	Kontrola materiałów łatwopalnych . . . . .	113
5.6.5.	Požary w elektrowni jądrowej Browns Ferry i innych elektrowniach jądrowych . . . . .	115
5.6.6.	Wymagania ochrony przeciwpożarowej w elektrowniach jądrowych . . . . .	116
5.6.7.	Detekcja i gaszenie pożaru . . . . .	119
5.6.8.	Ograniczenie skutków pożaru . . . . .	120
5.6.9.	Zabezpieczenie termiczne ścian i konstrukcji nośnych. . . . .	120
6.	Monitorowanie bezpieczeństwa jądrowego . . . . .	123
6.1.	Sterownia reaktora – centrum monitoringu parametrów reaktora . . . . .	123
6.1.1.	Charakterystyka ogólna sterowni reaktora . . . . .	123
6.1.2.	Monitoring stanu elektrowni jądrowej w przypadku ciężkich awarii. . . . .	124
6.1.3.	Sterownia reaktora MARIA . . . . .	127
6.2.	Monitoring systemów i urządzeń reaktora . . . . .	128
6.2.1.	Wskaźniki bezpieczeństwa wprowadzone przez Światowe Stowarzyszenie Operatorów Jądrowych . . . . .	128
6.2.2.	Monitoring stanu rdzenia reaktora. . . . .	129
6.2.3.	Monitorowanie stanu zbiornika . . . . .	130
6.2.4.	Monitorowanie stanu granic ciśnieniowych obiegu pierwotnego. . . . .	131
6.2.5.	Monitorowanie parametrów bezpieczeństwa EJ . . . . .	132
6.2.6.	Monitorowanie narażenia radiacyjnego personelu EJ. . . . .	133
6.2.7.	Monitoring drgań . . . . .	133
6.2.8.	Monitoring akustyczny . . . . .	133
6.2.9.	Monitorowanie luźnych przedmiotów . . . . .	135
6.3.	Monitoring przeciwpożarowy. . . . .	135
6.3.1.	Określenie obszarów, w których wymagana jest automatyczna detekcja pożaru . . . . .	135
6.3.2.	Wybór czujek i ich położenia dla monitoringu w pomieszczeniach elektrowni jądrowej. . . . .	136
6.4.	Monitorowanie poziomu promieniowania wokół elektrowni jądrowej . . . . .	138

6.4.1.	Zasady ogólne .....	138
6.4.2.	Przykład pomiarów wokoło EJ na wybrzeżu morskim we Flamanville .....	139
6.5.	System krajowy monitoringu radiacyjnego .....	140
6.5.1.	Systemy pomiarowe dawki i skażeń promieniotwórczych w Polsce ..	140
6.5.2.	Monitoring wokoło Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych KSOP w Różanie .....	141
6.5.3.	Monitoring promieniowania jonizującego na terenie Narodowego Centrum Badań Jądrowych oraz w jego okolicy ....	143
7.	Przepisy transportowe .....	145
7.1.	Podstawy prawne .....	145
7.2.	Podział towarów niebezpiecznych, zasady przewozu .....	146
7.3.	Pojazdy i opakowania .....	150
7.4.	Kierowcy przewożący towary niebezpieczne. ....	152
7.5.	Postępowanie w sytuacjach awaryjnych. ....	153
7.6.	Nadzór i kontrola.. ....	154
8.	Ochrona radiologiczna .....	157
8.1.	Wstęp .....	157
8.2.	Wielkości i jednostki związane z ochroną radiologiczną .....	158
8.3.	Dawki graniczne .....	164
8.4.	Naturalne i antropogeniczne źródła promieniowania jonizującego. ....	166
8.4.1.	Naturalne źródła promieniowania jonizującego .....	168
8.4.2.	Sztuczne źródła promieniowania jonizującego .....	170
8.5.	Sposoby zmniejszenia narażenia na promieniowanie .....	173
8.5.1.	Zasady ochrony radiologicznej przy narażeniu zewnętrznym i wewnętrznym .....	173
8.5.2.	Trzy zasady ICRP dotyczące ochrony radiologicznej. ....	175
9.	Biologiczne skutki działania promieniowania jonizującego .....	177
9.1.	Wprowadzenie .....	177
9.2.	Oddziaływanie promieniowania jonizującego z organizmem żywym. ....	177
9.3.	Dozymetria biologiczna .....	179
9.3.1.	Chromosomy dicentryczne. ....	181
9.3.2.	Mikrojądra .....	182
9.3.3.	Translokacje chromosomowe .....	183
9.3.4.	Przedwczesna kondensacja chromosomów. ....	184
9.4.	Co wpływa na skutki działania promieniowania? .....	186
9.5.	Ograniczanie skutków działania promieniowania jonizującego .....	188
10.	Rozprzestrzenianie się izotopów promieniotwórczych w powietrzu atmosferycznym. ....	191
10.1.	Wstęp .....	191

10.2. Dyspersja zanieczyszczeń promieniotwórczych . . . . .	192
10.2.1. Wpływ czynników meteorologicznych . . . . .	193
10.2.2. Wpływ czynników topograficznych . . . . .	200
10.2.3. Wpływ czynników technologicznych . . . . .	204
10.2.4. Skład izotopowy uwolnienia . . . . .	204
10.3. Modelowanie dyspersji zanieczyszczeń . . . . .	208
10.4. Odniesienie wyników prognoz do przepisów prawnych. . . . .	217
10.5. Podsumowanie . . . . .	218
11. Kierowanie działaniami ratowniczymi . . . . .	221
11.1. Wstęp . . . . .	221
11.2. Składniki działań ratowniczych . . . . .	222
11.3. Postawy decyzyjne i sytuacja decyzyjna . . . . .	224
11.4. Analiza pracy sztabu . . . . .	227
11.4.1. Scenariusze zdarzeń . . . . .	228
11.4.2. Szablon sprawozdania . . . . .	228
11.4.3. Opis badania . . . . .	228
11.4.4. Wnioski z przeprowadzonego badania . . . . .	232
11.5. Mechanizm pracy sztabu . . . . .	233
11.5.1. System wspomagania kierowania . . . . .	233
11.6. Realizacja kierowania działaniami sztabu . . . . .	235
11.6.1. Wnioski z ćwiczenia . . . . .	236
12. Psychospołeczny wymiar katastrof nuklearnych. Człowiek – istota zagrożona . . . . .	239
12.1. Efekt Czarnobyla . . . . .	239
12.2. Przystanek Fukushima . . . . .	242
12.3. Człowiek – istota zagrożona – co dalej z zaufaniem . . . . .	245
12.4. Na zakończenie . . . . .	246
13. Zarządzanie ryzykiem i ciągłością działania elektrowni jądrowych . . . . .	251
13.1. Rozważania o ryzyku . . . . .	251
13.1.1. Natura ryzyka . . . . .	251
13.1.2. Ryzyko w ujęciu teoretycznym . . . . .	252
13.1.3. Ryzyko w ujęciu praktycznym . . . . .	252
13.1.4. Społeczeństwa ryzyka . . . . .	253
13.2. Idea (istota) ciągłości działania . . . . .	254
13.2.1. Ciągłość działania w ujęciu procesowym. . . . .	254
13.2.2. Plan ciągłości działania . . . . .	256
13.2.3. Znaczenie analiz w ciągłości działania organizacji . . . . .	256
13.3. Ryzyko związane z działalnością elektrowni jądrowych . . . . .	257
13.3.1. Ryzyko wystąpienia zagrożenia skażeniem promieniotwórczym. . . . .	257
13.3.2. Ryzyko niedoboru zasobów . . . . .	258

13.4. Dobre praktyki i rekomendacje dla utrzymania ciągłości działania elektrowni jądrowej . . . . .	259
13.5. Podsumowanie . . . . .	260
14. Spójność planów zarządzania kryzysowego z planami postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych jako determinanta skuteczności zarządzania kryzysowego . . . . .	263
14.1. Wprowadzenie . . . . .	263
14.2. Planowanie cywilne . . . . .	264
14.3. Planowanie . . . . .	265
14.4. Plany zarządzania kryzysowego . . . . .	267
14.5. Plany postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych . . . . .	269
14.6. Uwarunkowania planowania . . . . .	271
14.7. Kierunki sprzyjające spójności planów . . . . .	274
15. Bezpieczeństwo a ochrona radiologiczna . . . . .	277

## CZĘŚĆ 2. BADANIA ORAZ NAJNOWSZE ROZWIĄZANIA Z ZAKRESU BEZPIECZEŃSTWA ENERGETYKI JĄDROWEJ I OCHRONY RADIOLOGICZNEJ . . . . . 295

16. Analiza zachowania się wybranych radionuklidów pochodzenia naturalnego i antropogenicznego w glebach w powiecie oleskim . . . . .	297
16.1. Wstęp . . . . .	297
16.2. Monitoring stężenia wybranych naturalnych i sztucznych pierwiastków promieniotwórczych w próbkach gleb pobranych z terenu Polski . . . . .	299
16.3. Charakterystyka badanego regionu . . . . .	302
16.4. Metodyka pomiaru . . . . .	305
16.5. Wyniki pomiarów i ich omówienie . . . . .	305
16.6. Wnioski . . . . .	309
17. Cooperation framework for radiological rescue operations . . . . .	313
17.1. Radiological rescue – main assumptions . . . . .	313
17.2. Roles and responsibilities in terms of radiological rescue in Poland . . . . .	314
17.3. International good practices in radiological rescue . . . . .	318
17.4. Responding in case of radiological emergency – new model for cooperation . . . . .	320
18. Promieniotwórczość naturalna surowców odpadowych pochodzących z wybranych elektrowni, elektrociepłowni i ciepłowni wschodniej części Polski . . . . .	325
18.1. Wstęp . . . . .	325
18.2. Przepisy legislacyjne z zakresu radioaktywności obowiązujące w budownictwie . . . . .	326
18.3. Metoda pomiaru . . . . .	327

18.4. Ocena możliwości zastosowania żużli i mieszaniny popiołowo- -żużlowej w budownictwie . . . . .	330
18.5. Podsumowanie . . . . .	336
19. Characterization of the Chernobyl exclusion zone and surrounding areas. . . . .	337
19.1. Radioactive contamination within the Chernobyl Exclusion Zone . . . . .	338
19.2. Dose rate within the Chernobyl Exclusion Zone . . . . .	339
19.3. Radiation safety in the Chernobyl Exclusion Zone . . . . .	340
19.4. Zoning of the Territory Exclusion zone and the zone of absolute resettlement . . . . .	340
19.5. Radiation safety requirements for the Personnel . . . . .	344
19.6. The requirements to radiation and ecological monitoring and radiation and dose control . . . . .	345
19.7. Organizational and technical measures assuring the radiation safety. . . . .	347
19.8. Dose monitoring of personnel and visitors of Chernobyl Exclusion Zone . . . . .	348
19.9. The means of personal protection, their designation and use . . . . .	349
19.10. Requirements to transport means. . . . .	350
19.11. Radiation protection on the SSE CHNPP and Shelter Object . . . . .	351
19.12. Principles Underlying Activities to Provide Radiological Protection on the Shelter object . . . . .	351
19.13. Measures to protect personnel and preparation of rescue teams at the Shelter object in case of emergencies . . . . .	352
19.14. Training personnel of SSE ChNPP and Shelter object in area of radiation protection . . . . .	354
20. Analiza pracy sztabu podczas zdarzeń o charakterze radiacyjnym z użyciem systemu wspomaganie kierowania . . . . .	357
20.1. Zarys przebiegu ćwiczeń sztabowych. . . . .	357
20.2. Zastosowanie Systemu Wspomaganie Kierowania w działaniach w sztabie . . . . .	358
20.3. Analiza pracy poszczególnych grup sztabowych w wyodrębnionych obszarach . . . . .	360
20.3.1. Obszar bezpieczeństwa . . . . .	361
20.3.2. Obszar działań interwencyjnych . . . . .	363
20.3.3. Obszar współdziałania . . . . .	365
20.3.4. Obszar logistyki . . . . .	367
20.4. Wnioski . . . . .	368