

Spis treści

Przedmowa i podziękowania	7
1. Człowiek i pies	11
1.1. Przeczytanie tej książki nie uprawnia do obsługi reaktora jądrowego	11
1.2. Jakie zagadnienia omawiane są w tej książce?	14
1.3. Trzy kluczowe pojęcia	15
1.4. Kilka uwag na zakończenie	15
2. Fizyka jest zabawna	17
2.1. Atomy i jądra	17
2.2. Rozszczepienie	19
2.3. Neutrony prężkie i powolne	22
2.4. Reakcje łańcuchowe	23
3. Zaprzyjżnij się z neutronami	25
3.1. Wprowadzenie pojęcia reaktywności	26
3.2. Niele i milinile	28
3.3. Paliwo do reaktora	29
3.4. Pręty sterujące	30
3.5. Punkt wrzenia wody	33
4. Nie taka krytyczność zła, jak ją malują	36
4.1. Jeden z największych błędów fantastyki naukowej	36
4.2. Rozpoczęcie pracy w stanie podkrytycznym – reaktor wyłączony	37
4.3. Coraz bliżej krytyczności	38
4.4. Nadkrytyczność także nie jest problemem	40
4.5. Neutrony natychmiastowe i opóźnione	41
4.6. Reaktor Chicago Pile 1 (CP-1)	42

5. Co sprawia, że energia jądrowa jest wyjątkowa?.....	47
5.1. Kompaktowe źródło energii	48
5.2. Produkty rozszczepienia.....	50
5.3. Ciepło rozpadu.....	53
5.4. Najgorsze, co może się zdarzyć	55
6. Puszka na reaktor	56
6.1. Zbiornik ciśnieniowy reaktora	59
6.2. Wytwornice pary.....	62
6.3. Pompy chłodziwa reaktora	64
6.4. Stabilizator ciśnienia.....	66
6.5. Połączmy wszystko w całość.....	68
6.6. Wewnątrz puszki	69
6.7. Liczby robią wrażenie	70
7. Wyciągnij pręty i odsuń się.....	71
7.1. Od czego zaczniemy?.....	71
7.2. Czy jesteś bezpieczny?	73
7.3. Prognoza krytyczności	74
7.4. Zmiana stężenia kwasu borowego	75
7.5. Pierwsze kroki.....	77
7.6. Krytyczność na horyzoncie	79
7.7. Oczekiwanie na krytyczność.....	81
7.8. Okres podwojenia i współczynnik rozruchu	82
7.9. Co teraz?.....	83
8. Moc.....	85
8.1. Trzy problemy ze strumieniem.....	87
8.2. Azot-16	92
8.3. Wykorzystanie ciepła w obiegu pierwotnym	93
8.4. Wykorzystanie ciepła w obiegu wtórnym	95
8.5. Co nie działa?	97
8.6. Wracamy do rozszczepień	97
9. Stabilny reaktor, część I.....	99
9.1. Temperatura paliwa	100
9.2. Temperatura moderatora.....	103
9.3. To reaktor PWR, więc jest stabilny.....	106
9.4. Inny współczynnik	107

9.5. Czarnobyl, 26 kwietnia 1986 r., reaktor nr 4	107
9.6. U nas to się nie zdarzy	109
10. Trzeba coś zrobić z całą tą parą	110
10.1. Wytwornice pary z innego punktu widzenia.	111
10.2. Główne rurociągi parowe	113
10.3. Turbiny parowe	115
10.4. Turbina wysokoprężna	118
10.5. Ponowne wykorzystanie pary	119
10.6. Skraplacze	121
10.7. Droga powrotna	122
10.8. Generator elektryczny	123
10.9. Szersze spojrzenie na systemy chłodzenia w elektrowni	125
11. Duży czerwony przycisk	126
11.1. Co dalej?	127
11.2. Człowiek z siekierą	130
11.3. Wyposażenie dobrej sterowni	130
11.4. Ile mamy reaktorów?	135
12. Stabilny reaktor, część II	137
12.1. Warunki pracy wytwornic pary	137
12.2. Wymiana ciepła	139
12.3. Praktyczny przykład: mała zmiana mocy elektrycznej	140
12.4. Zachowanie zaprogramowanej wartości	142
12.5. Zrzut pary	144
12.6. W końcu czas na bor	146
12.7. Rutynowe rozcieńczanie	148
13. Niech się kręci	150
13.1. Stabilność przy niskiej mocy	150
13.2. Układy wspomagające pracę turbiny	151
13.3. Ruch obrotowy	153
13.4. Synchronizacja	154
13.5. Zwiększenie mocy turbiny	158
14. Cała naprzód!	160
14.1. Zwiększanie mocy reaktora	160
14.2. Defekt mocy	161

14.3. Rozkład mocy	162
14.4. Jod i ksenon	164
14.5. Wzrost stężenia ksenonu	165
14.6. Ksenon po wyłączeniu reaktora	166
14.7. Styczniowe wyprzedza	168
15. Moc i jak ją zmienić	170
15.1. Zestaw narzędzi	170
15.2. Przykład praktyczny: znaczące zmniejszenie mocy	171
15.3. Co powinieneś zrobić?	172
15.4. Kontrola osiowego rozkładu mocy	173
15.5. A teraz ksenon	174
15.6. Elastyczna praca elektrowni	175
15.7. Reżim nadążny	178
15.8. Szersze spojrzenie na temat	178
16. Stała moc i gotowe?	180
16.1. Słowo na C	180
16.2. Wypalanie	181
16.3. Obieg pierwotny	183
16.4. Wytwornice pary	186
16.5. Poziom dopływu pary	187
16.6. Co jeszcze możesz robić?	188
16.7. Prognoza krytyczności	189
17. Najważniejsze jest bezpieczeństwo	193
17.1. Rozmowa kwalifikacyjna	193
17.2. Budowa mostu	194
17.3. Analizy bezpieczeństwa	195
17.4. Co może pójść nie tak?	196
17.5. Kryteria bezpieczeństwa	198
17.6. Ochrona automatyczna	199
17.7. Techniczne środki bezpieczeństwa	201
17.8. Wystarczająco bezpieczne, czyli jakie?	202
17.9. Pożar w Windscale	203
17.10. Perspektywa międzynarodowa	206
17.11. Dopuszczalne ryzyko	207
17.12. Minireaktor	207

18. Co może pójść nie tak i co na to poradzić.....	209
18.1. Dasz radę?	209
18.2. Usterka 1: utrata zasilania zewnętrznego	211
18.3. Cyrkulacja naturalna.....	212
18.4. Zasilanie awaryjne.....	214
18.5. Pompy itd.	215
18.6. Przywracanie zasilania	216
18.7. Usterka 2: awaria utraty chłodziwa z dużym rozerwaniem rurociągu (LB LOCA)	217
18.8. Wtrysk awaryjny.....	218
19. Mniejszy problem nie zawsze łatwiej rozwiązać	224
19.1. Usterka 3: awaria z mało intensywną utratą chłodziwa	224
19.2. Wybór po stronie operatora	225
19.3. Poszukiwanie równowagi.....	226
19.4. Najpierw w dół, potem do przodu	228
19.5. Mały przeciek, duży problem	231
19.6. Usterka 4: wyciek z rurki wytwornicy pary (SGTL)	233
19.7. Jak to możliwe?	237
20. Co jeszcze może pójść nie tak?	238
20.1. Usterka 5: awaria rozerwania głównego rurociągu parowego (MSLB)	238
20.2. Usterka 6: poważne awarie	241
20.3. Fukushima Daiichi.....	244
20.4. W dłuższej perspektywie	245
20.5. Najlepszy sposób radzenia sobie z poważną awarią to... ..	245
21. Kiedy zabraknie energii.....	247
21.1. Dopalanie paliwa pod koniec kampanii paliwowej.....	247
21.2. Wyłączanie reaktora.....	248
21.3. Chłodzenie.....	249
21.4. Pompy chłodziwa reaktora	252
21.5. Kwas borowy.....	253
21.6. Kontrola chemiczna	253
21.7. Dodatkowe chłodzenie.....	254
21.8. Podnoszenie pokrywy.....	256
21.9. Usuwanie, tasowanie i wymiana paliwa	258
21.10. Procedura ponownego włączenia reaktora	260

21.11. Próby fizyczne	261
21.12. Co potem?	262
22. Reaktory innej konstrukcji	263
22.1. Trochę historii	263
22.2. Reaktory wodne ciśnieniowe (PWR)	265
22.3. Reaktory wodne wrzące (BWR)	266
22.4. Reaktory CANDU	268
22.5. Reaktory MAGNOX	269
22.6. Ulepszone reaktory chłodzone gazem (AGR)	271
22.7. Reaktory RBMK	274
22.8. Reaktory prędkie	275
22.9. Tor	277
22.10. Reaktory na papierze	278
22.11. Który reaktor wygrywa?	280
22.12. Nie kieruj się za bardzo moimi sugestiami	280
23. Jak zbudować reaktor	281
23.1. Najpierw paliwo	281
23.2. Pluton	282
23.3. Wzbogacony uran	282
23.4. Układ o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej (NNPT)	283
23.5. Uran naturalny	284
23.6. To nie jest możliwe	286
23.7. Czy ktoś kiedyś próbował?	286
24. Jest tego więcej.....	288
24.1. Jedna mała książka	288
24.2. Nie tylko obsługa	288
24.3. Wypalone paliwo	290
24.4. Odpady promieniotwórcze	291
24.5. U schyłku eksploatacji	292
24.6. Odłączenie od sieci	292
24.7. Książki, awarie i broń	293
24.8. Polityka i agitacja	294
25. Wnioski	295
Słownik	299
Autorzy zdjęć i źródła	305