

Spis treści

PRZEDMOWA	9
WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	11
WYKAZ UŻYWANYCH POJĘĆ I SKRÓTÓW	13
1. WSTĘP	15
2. ELEMENTY FIZYKI JĄDROWEJ	19
2.1. Rozpad promieniotwórczy	19
2.2. Reakcje jądrowe wywoływane przez neutrony	21
2.2.1. Charakterystyka ogólna	21
2.2.2. Reakcja pochłaniania neutronów	21
2.2.3. Rozszczepienie jądra atomowego	22
2.2.4. Materiały rozszczepialne	24
2.2.5. Przekroje czynne	25
2.2.6. Neutrony natychmiastowe i opóźnione	28
2.2.7. Spowalnianie neutronów i dyfuzja neutronów	30
3. ELEMENTY FIZYKI REAKTOROWEJ	33
3.1. Wprowadzenie	33
3.2. Średni czas życia pokolenia neutronów	34
3.3. Reakcja łańcuchowa i współczynnik mnożenia	35
3.3.1. Definicja współczynnika mnożenia	35
3.3.2. Współczynnik mnożenia na neutronach prędkich	36
3.3.3. Prawdopodobieństwo uniknięcia wychwytu rezonansowego	37
3.3.4. Współczynnik wykorzystania termicznego	37
3.3.5. Współczynnik reprodukcji neutronów rozszczepieniowych	39
3.3.6. Charakterystyka współczynnika mnożenia	40
3.4. Masa krytyczna	42
3.5. Reaktywność	43
4. KINETYKA REAKTORA	45
4.1. Wprowadzenie	45
4.2. Elementarne równanie kinetyki	45
4.3. Zmiana gęstości strumienia neutronów podczas rozruchu reaktora	46

4.4.	Kinetyka reaktora z udziałem neutronów opóźnionych	49
4.4.1.	Układ równań kinetyki	49
4.4.2.	Skokowa zmiana reaktywności	51
4.4.3.	Stany krytyczny i nadkrytyczny na neutronach natychmiastowych	53
4.5.	Wpływ reaktywności na zmianę mocy reaktora	54
4.6.	Charakterystyka zakresów zmian mocy reaktora	57
5.	EFEKTY REAKTYWNOŚCIOWE ZALEŻNE OD TEMPERATURY	59
5.1.	Charakterystyka ogólna	59
5.2.	Efekt reaktywnościowy uwarunkowany zmianami temperatury paliwa	59
5.3.	Efekt reaktywnościowy wywołany zmianami gęstości moderatora	63
6.	ZMIANY SKŁADU IZOTOPOWEGO PALIWA	65
6.1.	Wprowadzenie	65
6.2.	Ciepło powyłączeniowe	69
6.3.	Powielanie paliwa	71
7.	ZATRUCIE REAKTORA KSENONEM I SAMAREM	73
7.1.	Wprowadzenie	73
7.2.	Zatrucie ksenonem	73
7.2.1.	Obliczanie straty reaktywności wywołanej ksenonem	73
7.2.2.	Strata reaktywności w stanie ustalonym	76
7.2.3.	Efekty reaktywnościowe wywołane Xe-135 w stanach nieustalonych	77
7.2.4.	Oscylacje ksenonu	80
7.3.	Zatrucie samarem	81
7.3.1.	Strata reaktywności wywołana samarem	81
7.3.2.	Efekty reaktywnościowe wywołane Sm-149 w stanach nieustalonych	83
8.	SYSTEM STEROWANIA I ZABEZPIECZEŃ	85
8.1.	Wprowadzenie	85
8.2.	Bilans reaktywności	86
8.3.	Regulacja reaktywności za pomocą prętów	88
8.4.	Regulacja reaktywności kwasem borowym	91
8.5.	Trucizny wypalające się	91
8.6.	Zabezpieczenia przed awarią	94
8.7.	Rozruch reaktora	95
9.	POMIARY MOCY REAKTORA	97
9.1.	Moc cieplna i moc elektryczna	97
9.2.	Liczniki proporcjonalne	98
9.3.	Komora jonizacyjna	100
9.4.	Detektory samozasilające się	103
9.5.	Wyznaczanie mocy cieplnej reaktora	106
10.	STRUKTURA I TECHNOLOGIA PRACY ELEKTROWNI	107
10.1.	Rys historyczny	107
10.2.	Typy energetycznych reaktorów lekkowodnych	111
10.3.	Wybór miejsca pod budowę	112
10.4.	Elektrownia z reaktorem typu BWR	115
10.4.1.	Uwagi ogólne	115
10.4.2.	Reaktory BWR	120
10.4.3.	Zalety i wady reaktorów typu BWR	127

10.5.	Elektrownie z reaktorami typu PWR	129
10.5.1.	Uwagi ogólne	129
10.5.2.	Elektrownia firmy Westinghouse	131
10.5.2.1.	Funkcjonowanie i budowa	131
10.5.2.2.	Reaktor AP1000	133
10.5.2.3.	Awaryjne chłodzenie na zasadzie bezpieczeństwa biernego	138
10.5.2.4.	Układ awaryjnego odprowadzania ciepła powyłączeniowego (UAOCP)	139
10.5.2.5.	Układ awaryjnego wtrysku wody borowej (UAWB)	140
10.5.2.6.	Układ automatycznej redukcji ciśnienia (UARC)	141
10.5.2.7.	Układ awaryjnego schładzania wnętrza budynku reaktora	142
10.5.3.	Rosyjska elektrownia z reaktorem WWER-1000	143
10.5.3.1.	Funkcjonowanie urządzeń elektrowni	143
10.5.3.2.	Reaktor WWER-1000	145
10.5.4.	Elektrownia francuskiego koncernu AREVA	156
10.5.4.1.	Uwagi ogólne	156
10.5.4.2.	Montaż urządzeń	158
10.5.4.3.	Wyposażenie reaktora	161
10.5.4.4.	Oprządkowanie pomiarowe	162
10.5.4.5.	Kompozycja elektrowni	164
10.5.4.6.	Elektryczne zasilanie urządzeń potrzeb własnych i awaryjnych	166
11.	PALIWO JĄDROWE	169
11.1.	Kryteria wyboru paliwa	169
11.2.	Konstrukcja elementów i kaset	169
11.3.	Warunki cieplne w elemencie paliwowym	174
11.4.	Magazynowanie i transport paliwa świeżego	176
11.5.	Cykl paliwowy	178
11.5.1.	Charakterystyka cyklu paliwowego	178
11.5.2.	Baseny do przechowywania paliwa wypalonego	184
11.5.3.	Przechowalniki suche paliwa wypalonego	185
11.5.4.	Produkcja paliwa typu MOX	188
11.5.5.	Składowanie odpadów	189
12.	WYBRANE PROBLEMY BEZPIECZEŃSTWA	195
12.1.	Korium – roztopione paliwo reaktora jądrowego	195
12.1.1.	Wprowadzenie	195
12.1.2.	Chiński syndrom	197
12.1.3.	Stopione paliwo reaktora elektrowni TMI-2	199
12.1.4.	Lawa z reaktora czarnobylskiego	201
12.1.5.	Przetopione zbiorniki reaktorów elektrowni Fukushima-1	204
12.1.6.	Oddziaływanie na materiały konstrukcyjne	208
12.1.6.1.	Reakcje w betonie	208
12.1.6.2.	Otlenianie się koszulek elementów paliwowych i tworzenie się wodoru	209
12.1.7.	Konstrukcje urządzeń do chłodzenia i retencji korium	210
12.1.7.1.	Uwagi ogólne	210
12.1.7.2.	Koncepcja firmy Westinghouse	212
12.1.7.3.	Urządzenie do magazynowania korium w reaktorze EPR	214
12.1.7.4.	Akumulacja korium w reaktorze typu WWER-1000	220
12.1.7.5.	Fotografie urządzeń	224
12.1.8.	Podsumowanie	225
12.2.	Obrona w głąb	226
12.3.	Zasada jednorazowego niezadziałania	227

12.4.	Zagrożenie atakiem terrorystycznym	229
12.4.1.	Reakcje poszczególnych państw	229
12.4.2.	Uderzenie samolotu	231
12.5.	Międzynarodowa skala zdarzeń	233
13.	SKUTKI EKOLOGICZNE	235
13.1.	Elektrownia jądrowa a elektrownia węglowa	235
13.2.	Odpady gazowe	235
13.3.	Odpady ciepłe	238
14.	OCHRONA RADIOLOGICZNA	239
14.1.	Oddziaływanie biologiczne nuklidów promieniotwórczych	239
14.2.	Strefy awaryjne	242
14.3.	Promieniowanie jonizujące	245
14.3.1.	Skutki promieniowania jonizującego	245
14.3.2.	Jednostki i dawki promieniowania jonizującego	247
15.	PROBLEMY WSPÓŁPRACY ELEKTROWNI JĄDROWEJ Z SYSTEMEM ELEKTROENERGETYCZNYM	251
15.1.	Wprowadzenie	251
15.2.	Stabilność pracy systemu elektroenergetycznego	252
15.3.	Wpływ wartości napięcia i częstotliwości na pracę urządzeń EJ	255
15.4.	Pokrywanie dobowego obciążenia systemu elektroenergetycznego	256
BIBLIOGRAFIA		261
SKOROWIDZ		263