

1. FYZIKA ŠTĚPNÉ ŘETĚZOVÉ REAKCE	9
1.1 Neutrony	9
1.1.1 Základní vlastnosti neutronů	9
1.1.2 Tepelné neutrony	10
1.1.3 Neutronové účinné průřezy	11
1.1.4 Střední volná dráha, střední doba života neutronu a relaxační délka	13
1.1.5 Hustota počtu neutronů a neutronové toky	15
1.1.6 Četnost jaderných reakcí	16
1.1.7 Interakce neutronů s jádry atomů	16
1.2 Štěpení těžkých jader	18
1.2.1 Vazbové energie jádra	18
1.2.2 Mechanismus štěpení jader	20
1.2.3 Neutrony uvolněné při štěpení	21
1.2.4 Produkty štěpení	23
1.2.5 Energie uvolněná při štěpení	24
1.3 Štěpná řetězová reakce	27
1.3.1 Multiplikační faktor	27
1.3.2 Štěpná řetězová reakce s moderátorem	29
1.3.3 Štěpná řetězová reakce bez moderátoru	30
1.3.4 Rovnováha neutronů ve štěpné soustavě s moderátorem	32
1.3.5 Kritické rozměry štěpné soustavy	33
1.3.6 Energetické využití štěpné řetězové reakce	34
2. DIFÚZE NEUTRONŮ	37
2.1 Fickův zákon	38
2.2 Fickův zákon a transportní teorie	40
2.3 Difúzní rovnice	40
2.3.1 Odvození difúzní rovnice	41
2.3.2 Hraniční podmínky	42
2.3.3 Meze platnosti difúzní rovnice	44
2.4 Difúze monoenergetických neutronů v okolí bodového zdroje	45
2.5 Difúzní délka	46
2.6 Jednogradový výpočet kritické velikosti reaktoru	47
2.6.1 Jednogradová rovnice reaktoru	47
2.6.2 Geometrický parametr a neutronové toky	49
2.6.3 Kritická rovnice reaktoru v jednogradovém přiblížení	52
3. ZPOMALOVÁNÍ NEUTRONŮ	55
3.1. Zákonitosti pružného rozptylu	55
3.1.1 Ztráta energie neutronu při pružném rozptylu	55
3.1.2 Rozdělovací funkce rozptylu	57
3.1.3 Střední logaritmický dekrement energie	59
3.1.4 Počet srážek potřebných ke zpomalení na tepelnou energii	59
3.1.5 Jaderná kritéria pro hodnocení moderátorů	61

3.2	Zpomalování neutronů v nekonečném prostředí	62
3.2.1	Zpomalování ve vodíku bez absorpce	62
3.2.2	Hustota zpomalení ve vodíku bez absorpce	64
3.2.3	Zpomalování bez absorpce v moderátorech s $A > 1$	65
3.2.4	Zpomalování ve vodíku s absorpcí	66
3.2.5	Pravděpodobnost úniku rezonančního zachycení	68
3.3	Zpomalování neutronů v konečném prostředí	69
3.3.1	Model spojitého zpomalování	69
3.3.2	Fermiova rovnice stárnutí a difúze	70
3.3.3	Řešení Fermiovy rovnice stárnutí a difúze	71
3.3.4	Fyzikální význam stárnutí neutronů	75
3.3.5	Kritická rovnice reaktoru podle modelu spojitého zpomalování	76
3.3.6	Dvougrupová difúzní teorie a kritická rovnice	77
3.3.7	Kritická rovnice velkého reaktoru	79
4.	REAKTOR VE STACIONÁRNÍM STAVU	81
4.1	Reflektor aktivní zóny	81
4.1.1	Vliv reflektoru v jednogrupovém přiblížení	81
4.1.2	Vliv reflektoru podle dvougrupové teorie	85
4.1.3	Požadavky na reflektor	88
4.2	Účinek regulačních tyčí	89
4.2.1	Plně zasunutá centrální tyč — jednogrupové přiblížení	90
4.2.2	Lineární extrapolovaná délka	93
4.2.3	Plně zasunutá tyč — dvougrupové přiblížení	94
4.2.4	Částečně zasunutá tyče v pravidelné mříži	98
4.3	Heterogenní struktura aktivní zóny	101
4.3.1	Součinitel využití tepelných neutronů f	102
4.3.2	Rezonanční zachycení v heterogenní soustavě	106
4.3.3	Multiplikační faktor rychlých neutronů	108
4.3.4	Vliv heterogenní struktury na k_{∞}	110
4.4	Poznámky k fyzikálnímu výpočtu reaktoru	111
4.4.1	Mnogogrupová difúzní teorie	111
4.4.2	Grupové konstanty	113
4.4.3	Aplikace mnogogrupového difúzního přiblížení	116
5.	REAKTOR V PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH	118
5.1	Vliv teplotních změn na reaktivitu reaktoru	118
5.1.1	Teplotní koeficienty reaktivity	119
5.1.2	Teplotní koeficienty reaktivity velkého tepelného reaktoru	120
5.1.3	Dopplerův efekt	121
5.1.4	Teplotní koeficienty reaktivity tlakovodních reaktorů	123
5.1.5	Reaktorové koeficienty reaktivity	124
5.2	Xenonová otrava reaktoru	125
5.2.1	Obecné vztahy	125
5.2.2	Stacionární otrava reaktoru xenonem	127
5.2.3	Účinek otravy na reaktivitu	128
5.2.4	Jodová jáma	129
5.3	Zastruskování reaktoru	131
5.3.1	Absorpce neutronů ve struskách	131
5.3.2	Rezonanční zachycení neutronů ve strusec	132
5.3.3	Rozdělení strusek do skupin	133
5.4	Vyhořívání paliva v reaktoru	134

5.4.1	Rovnice dlouhodobé kinetiky reaktoru	135
5.4.2	Změna reaktivity reaktoru v průběhu vyhořívání paliva	137
5.4.3	Konverzní faktor	137
5.5	Změna zásoby reaktivity při provozu energetického reaktoru	139
5.6	Vnitřní palivový cyklus	139
5.6.1	Výměna a přemístování paliva v tlakovodních reaktorech	140
5.6.2	Stanovení optimální strategie výměny paliva	142
6.	DYNAMIKA JADERNÝCH REAKTORŮ	144
6.1	Zpožděné neutrony	145
6.2	Rovnice kinetiky reaktoru	146
6.2.1	Rovnice kinetiky bez zpožděných neutronů	146
6.2.2	Perioda reaktoru a vliv zpožděných neutronů	148
6.2.3	Rovnice kinetiky se zpožděnými neutrony	149
6.2.4	Rovnice kinetiky v integrálním tvaru	153
6.3	Přechodové procesy v nulovém reaktoru	157
6.3.1	Impulsní změna reaktivity	157
6.3.2	Skoková změna reaktivity	158
6.3.3	Ustálená perioda reaktoru	160
6.3.4	Skoková změna reaktivity — jedna skupina zpožděných neutronů	161
6.3.5	Zjednodušená forma kinetických rovnic	163
6.4	Přenosová funkce nulového reaktoru	165
6.4.1	Linearizovaný model nulového reaktoru	167
6.4.2	Přenos linearizovaného nulového reaktoru	167
6.4.3	Frekvenční charakteristika	170
6.4.4	Stabilita nulového reaktoru	172
6.5	Přenos reaktoru se zpětnou vazbou	172
6.5.1	Lineární model zpětné teplotní vazby	172
6.5.2	Přenos linearizovaného reaktoru se zpětnou vazbou	174
6.5.3	Frekvenční charakteristika a stabilita energetického reaktoru	174
6.6	Nelineární modely s lineární zpětnou vazbou	177
6.6.1	Diferenciální modely	177
6.6.2	Integrační modely	179
7.	ZÁKLADNÍ TYPY ENERGETICKÝCH REAKTORŮ	181
7.1	Funkce jednotlivých částí reaktoru a jejich konstrukční řešení	181
7.1.1	Palivové články	182
7.1.2	Aktivní zóna	183
7.1.3	Reaktorová nádoba	185
7.1.4	Systém odvodu tepla	186
7.1.5	Ochranná obálka (kontejnment)	187
7.2	Rozdělení energetických reaktorů	190
7.3	Vývoj a perspektivy jaderných energetických reaktorů	191
7.3.1	Dosavadní vývoj jaderné energetiky	191
7.3.2	Současný stav vývoje a perspektivy jaderných reaktorů	197
8.	KONSTRUKCE A USPOŘÁDÁNÍ ENERGETICKÝCH REAKTORŮ	201
8.1	Základní technická kritéria	201
8.2	Lehkovodní reaktory	202
8.2.1	Tlakovodní reaktory	203

8.2.2	Vývojové tendence tlakovodních reaktorů	207
8.2.3	Tlakovodní reaktory novovoronežského typu (VVER)	210
8.2.4	Varné reaktory	215
8.3	Vysokoteplotní reaktory	220
8.3.1	Základní koncepce vysokoteplotních reaktorů	220
8.3.2	Palivo vysokoteplotních reaktorů	221
8.3.3	Americké HTGR s hexagonálními palivovými články	223
8.3.4	Západoněmecké HTGR s kulovými články	227
8.4	Rychlé množivé reaktory	230
8.4.1	Základní koncepce rychlých reaktorů	232
8.4.2	První prototypy rychlých množivých reaktorů	237
8.4.3	Velké průmyslové elektrárny s rychlými reaktory	244
9.	PERSPEKTIVY JADERNÉ ENERGETIKY	247
9.1	Jaderná elektřina	249
9.1.1	Termodynamické cykly s parní turbínou	249
9.1.2	Zvyšování termické účinnosti cyklu	250
9.1.3	Plynové turbíny	250
9.2	Použití jaderných reaktorů v dopravě	253
9.3	Reaktor jako zdroj tepla pro technologické procesy	256
9.3.1	Výroba vodíku	256
9.3.2	Použití vysokoteplotních reaktorů v ocelářském průmyslu	259
9.3.3	Zplynování fosilních paliv jaderným teplem	262
9.4	Použití jaderné energie v zemědělství	266
9.4.1	Využití odpadního tepla	266
9.4.2	Nuplexy	268
	Závěr	271
	Literatura	272

Sm 40, 47, 75