

Úvod	3
1. Vývin tepla v jaderných reaktorech	4
1.1 Energie uvolněná při štěpení	4
1.2 Vývin tepla v aktivní zóně	5
1.2.1 Vývin tepla v palivových člancích	5
1.2.2 Vývin tepla v moderátoru a reflektoru	7
1.2.3 Vývin tepla absorpcí záření γ	7
1.3 Prostorové rozložení vývinu tepla v uniformní aktivní zóně	8
1.3.1 Součinitel vyrovnání vývinu tepla	8
1.3.2 Funkce vývinu tepla	10
1.3.3 Vývin tepla na jednotku délky palivové tyče	11
1.4 Vliv reflektoru na prostorové rozložení vývinu tepla	12
1.4.1 Jednogrupové přiblížení - "ekvivalentní reaktor"	13
1.4.2 Dvougrupové difúzní přiblížení	17
1.5 Vliv absorpčních elementů na prostorové rozložení vývinu tepla	21
1.5.1 Vliv plně zasunuté centrální absorpční tyče na radiální rozložení vývinu tepla	21
1.5.2 Vliv částečně zasunutých absorpčních tyčí na axiální rozložení vývinu tepla	22
1.5.3 Vliv nerovnoměrného vyhoření paliva	25
1.6 Vliv dutin a mezer na prostorové rozložení vývinu tepla	26
1.7 Radiální rozložení vývinu tepla při kampaňové výměně paliva	28
1.8 Nestacionární vývin tepla v jaderných reaktorech	29
1.8.1 Rozložení vývinu tepla při změně provozního režimu reaktoru	29
1.8.2 Časový průběh tepelného výkonu po rychlém odstavení reaktoru	30
2. Vedení tepla v palivových elementech	32
2.1 Rovnice vedení tepla	32
2.1.1 Obecná diferenciální rovnice vedení tepla	32
2.1.2 Stacionární tvar rovnice vedení tepla ve válcové geometrii	35
2.1.3 Integrovaná tepelná vodivost	36
2.2 Tepelně fyzikální vlastnosti palivových elementů reaktorů VVER	38
2.2.1 Chování paliva v provozních podmínkách	39
2.2.2 Chování paliva v extrémních podmínkách	41
2.2.3 Tepelně fyzikální vlastnosti UO_2	43
2.2.4 Tepelně fyzikální vlastnosti povlaku	47
2.3 Vedení tepla ve válcové tyči	48
2.3.1 Radiální rozložení teplot v palivové tyči s proměnným vývinem tepla	48
2.3.2 Radiální rozložení teplot v palivové tabletě z UO_2 s centrálním otvorem	52
2.3.3 Radiální rozložení teplot v palivové tabletě z UO_2 s proměnným vývinem tepla	53

2.4	Rovnice vedení tepla v bezrozměrném tvaru	55
2.5	Lokální tavení palivových tablet	59
2.5.1	Dosažení teploty tavení v centru palivové tablety	59
2.5.2	Roztavení části palivové tablety (q_1 a λ_{UO_2} v roztavené a tuhé části stejné)	61
2.5.3	Roztavení části palivové tablety (q_1 a λ_{UO_2}) se v roztavené části liší od hodnot v tuhé části	61
2.6	Vedení tepla v povlaku palivové tablety	64
2.6.1	Vedení tepla v povlaku, $\lambda_S = \text{konst.}$	
2.6.2	Aproximace teplotního rozložení v povlaku lineárním průběhem	66
3.	<u>Sdílení tepla v mezeře mezi palivem a povlakem</u>	67
3.1	Součinitel sdílení tepla v mezeře palivo - povlak	67
3.1.1	Vedení tepla v plynové náplni	68
3.1.2	Velikost mezery δ	70
3.1.3	Přímý styk paliva a povlaku	71
3.1.4	Přenos tepla sáláním	74
3.2	Tepelně fyzikální konstanty	74
3.2.1	Tepelná vodivost plynové náplně	75
3.2.2	Teplotní dilatace paliva a povlaku	77
3.2.3	Denzifikace (zhuňování) paliva	77
3.2.4	Poměrná emisivita	78
3.3	Součinitel přenosu tepla v mezeře palivo - povlak palivové tyče reaktoru VVER	78
3.3.1	Čerstvé palivo	78
3.3.2	Vyhořelé palivo	80
3.3.3	Závislost součinitele přenosu tepla v mezeře na lineárním výkonu palivové tyče	83
4.	<u>Přestup tepla</u>	84
4.1	Teorie podobnosti	85
4.1.1	Teorie podobnosti	85
4.1.2	Konvektivní přestup tepla (kapaliny a plyny)	88
4.1.3	Konduktivní přestup tepla (tekuté kovy)	93
4.2	Dvoufázové proudění	94
4.2.1	Režim vyvinutého bublinkového tvaru	96
4.2.2	Bublinkový var, $x \leq 0,9$	98
4.2.3	Krise varu 1. druhu	98
4.2.4	Přechodový blánový var	106
4.2.5	Stabilní blánový var	106
4.3	Přestup tepla v reaktorech VVER	108
5.	<u>Stacionární teplotní pole v palivovém kanále</u>	112
5.1	Energetická rovnice proudícího chladiwa	112
5.2	Stacionární teplotní pole ve dvousložkovém palivovém kanále se sinusovým vývinem tepla	115
5.2.1	Axiální průběh teploty chladiwa	116
5.2.2	Axiální průběh teploty povrchu palivového článku	117

5.2.3	Axiální průběh teploty v ose palivové tyče	118
5.2.4	Axiální průběh teploty v ose palivové tyče - jednovrstvový model	119
5.2.5	Maximální teplota na povrchu palivové tyče	120
5.2.6	Maximální teplota v ose palivové tyče	122
5.3	Prstencový palivový článek	123
5.3.1	Prstencový palivový článek s vnitřním i vnějším odvodem tepla	123
5.3.2	Palivový kanál s dutým palivovým článkem jako Fieldova trubka	126
5.4	Podobnost teplotních polí v jaderném reaktoru	128
5.4.1	Koeficienty palivového kanálu	129
5.4.2	Válcový reaktor s asymetrickým axiálním reflektorem	130
5.4.3	Válcový reaktor s částečně zasunutými absorpčními elementy	132
5.5	Maximální teploty v palivovém kanále	132
6.	<u>Hydrodynamika aktivní zóny</u>	133
6.1	Tlaková ztráta v palivovém kanále	133
6.1.1	Tření teplotnosné látky v palivovém kanále	134
6.1.2	Místní hydraulické odpory	137
6.1.3	Tlaková ztráta na urychlení chladiva	137
6.1.4	Hydrostatický tlak	138
6.2	Celková tlaková ztráta a distribuce chladiva aktivní zónou	139
6.3	Čerpací výkon	141
7.	<u>Teorie horkého kanálu</u>	142
7.1	Součinitelé horkého kanálu	143
7.2	Součinitelé horkého kanálu tlakovodních reaktorů	144
7.3	Vliv součinitelů horkého kanálu na teploty v palivovém kanále ...	145
7.4	Statistický přístup k teorii horkého kanálu	148
8.	<u>Termohydraulický výpočet reaktoru</u>	150
8.1	Maximálně přípustný tepelný výkon reaktoru	150
8.1.1	Omezující kritéria maximálního tepelného výkonu reaktoru ..	151
8.1.2	Tepelný výkon reaktoru	152
8.2	Radiální vyrovnání kritických teplot	153
8.2.1	Vyrovnání radiálního vývinu tepla	154
8.2.2	Hydraulické vyrovnání kritických teplot	160
8.3	Axiální vyrovnání kritických teplot	162
	Použitá literatura	163
	Dodatek: Besselovy funkce	167
	Definice a rozměr použitých symbolů	172

