

Obsah

Předmluva.....	1
1. Přepřacování vyhořelých jaderných paliv.....	2
1.1. Historický úvod.....	2
1.2. Mínulé i současné koncepce nakládání s vyhořelým jaderným palivem.....	4
1.3. Technologické postupy zpracování vyhořelého jaderného paliva.....	6
1.3.1. Chlazení vyhořelého paliva a jeho složení.....	6
1.3.2. Základní aspekty procesu přepřacování vyhořelého jaderného paliva.....	8
1.3.2.1. Separace U, Pu, Th a dalších užitečných složek.....	8
1.3.2.2. Podkritičnost systému.....	12
1.3.2.3. Problematika vysoké radioaktivity a bezpečnosti práce.....	14
1.3.2.4. Problematika odpadů.....	16
1.3.3. Přehled vývoje technologických postupů zpracování vyhořelého jaderného paliva.....	17
1.3.3.1. Úvod.....	17
1.3.3.2. Mechanické metody odstraňování povlakových materiálů.....	17
1.3.3.3. Chemické metody odstraňování povlakových materiálů.....	18
1.3.3.3.1. Úvod.....	18
1.3.3.3.2. Hliníkové povlaky.....	18
1.3.3.3.3. Hořčíkové povlaky.....	19
1.3.3.3.4. Zr - povlaky.....	19
1.3.3.3.5. Povlaky z nerez - ocelí.....	19
1.3.3.3.6. Grafitové a siliciumkarbidové povlaky.....	19
1.3.3.3.7. Elektrochemické rozpouštění.....	20
1.3.3.3.8. Pyrochemické a pyrometalurgické metody.....	20
1.3.3.4. Metody a chemismus rozpouštění vyhořelého jaderného paliva.....	21
1.3.3.4.1. Úvod.....	21
1.3.3.4.2. Palivo na bázi kovového uranu.....	22
1.3.3.4.3. Palivo na bázi UO_2 (reaktorů LWR).....	22
1.3.3.4.4. Palivo na bázi $UO_2 + PuO_2$ (reaktorů FBR, LMFBR).....	24
1.3.3.4.5. Palivo na bázi Th - U (reaktorů HTGR).....	24
1.3.3.5. Principy technologických postupů rafinace vyhořelého jaderného paliva.....	25
1.3.3.5.1. Srážecí procesy.....	25
1.3.3.5.1.1. Úvod.....	25
1.3.3.5.1.2. $BiPO_4$ - proces.....	25
1.3.3.5.1.3. Fluorido - acetátový proces.....	26
1.3.3.5.2. REDOX - proces.....	26
1.3.3.5.3. TRIGLY - proces.....	27
1.3.3.5.4. BUTEX - proces.....	27
1.3.3.5.5. PUREX - proces.....	28
1.3.3.5.5.1. Úvod.....	28
1.3.3.5.5.2. Úprava složení roztoku.....	28
1.3.3.5.5.3. Společná extrakce U(VI) a Pu(IV).....	29
1.3.3.5.5.4. Selektivní reextrakce Pu.....	29
1.3.3.5.5.5. Reextrakce uranu.....	31
1.3.3.5.5.6. Čištění plutoniové frakce.....	31
1.3.3.5.5.7. Čištění uranové frakce.....	32
1.3.3.5.5.8. Koncové operace PUREX - procesu.....	32

1.3.3.5.6. THOREX - proces	33
1.3.3.5.6.1. Úvod	33
1.3.3.5.6.2. Problematika radioaktivity produktů THOREX - procesu (Th a U)	33
1.3.3.5.6.3. Chemicko-technologická problematika THOREX-procesu	34
1.3.3.5.6.4. Kyselý, dvojestupňový THOREX-proces	35
1.3.3.5.7. Nevodné procesy	36
1.3.3.5.7.1. Úvod	36
1.3.3.5.7.2. Pyrometalurgické procesy	37
1.3.3.5.7.3. Pyrochemické metody	39
1.3.3.5.7.4. Frakční destilace těkavých fluoridů (tzv. fluoridový proces).....	39
1.3.3.6. Odpady z přepracování vyhořelého jaderného paliva	40
1.3.3.6.1. Úvod	40
1.3.3.6.2. Zpracování kapalných odpadů.....	40
1.3.3.6.2.1. Základní technologické schema	40
1.3.3.6.2.2. Regenerace kyseliny dusičné.....	42
1.3.3.6.2.3. Regenerace a zpracování odpadající organické fáze	43
1.3.3.6.3. Technologické principy čištění plyných odpadů.....	45
1.3.3.6.3.1. Úvod	45
1.3.3.6.3.2. Záchyt jodu a jeho sloučenin.....	46
1.3.3.6.3.3. Záchyt kryptonu a xenonu	47
1.3.3.6.3.4. Záchyt a ukládání tritia.....	48
1.3.3.6.3.5. Záchyt a ukládání těkavých sloučenin ruthenia a sloučenin ¹⁴ C	49
1.3.3.6.3.6. Záchyt radioaktivních aerosolových a prachových částic	50
1.3.3.6.4. Technologické principy zpracování pevných odpadů	51
1.3.3.6.4.1. Úvod	51
1.3.3.6.3.2. Zpracování odpadních konstrukčních materiálů palivových článků 51	
1.3.3.6.3.3. Zpracování vysoko- středně- a nízko-aktivních pevných odpadů	52
1.3.4. Provozní realizace procesu přepracování vyhořelého paliva	53
1.3.4.1. Celkový přehled dosavadních projektů a realizací.....	53
1.3.4.2. Provozní přepracování paliva reaktorů typu LWR - proces THORP	56
1.3.4.2.1. Základní technologické schema	56
1.3.4.2.2. Mechanické operace a příprava roztoku vyhořelého paliva	56
1.3.4.2.3. Extrakce a separace U/Pu (1. extrakční stupeň)	58
1.3.4.2.4. Rafinace uranové frakce	61
1.3.4.2.5. Rafinace plutoniové frakce.....	62
1.3.4.2.6. Finální operace zpracování uranové a plutoniové frakce	64
1.3.4.2.7. Zpracování a likvidace odpadů.....	64
1.3.4.3. Provozní přepracování paliva rychlých reaktorů typu LMFBR	66
1.4. Závěry	67
2. Radioaktivní odpady z výroby a aplikace jaderných paliv (z palivového cyklu JE).....	68
2.1. Zdroje a klasifikace radioaktivních odpadů	68
2.2. Odpady z těžby a zpracování uranových rud	71
2.2.1. Charakteristika odpadů.....	71
2.2.1.1. Pevné odpady	71
2.2.1.2. Kapalných odpady	72
2.2.1.3. Plyných odpady	74
2.2.2. Zpracování a likvidace kapalných odpadů	74
2.2.2.1. Důlní vody	74
2.2.2.1.1. Klasické chemické metody	74
2.2.2.1.2. Sorpční metody	75

2.2.2.1.3. Centrální dekontaminační stanice (Stráž p. Ralskem).....	78
2.2.2.2. Podzemní vody kontaminované při tzv. chemické těžbě	78
2.2.2.3. Kapalné odpady ze zpracování uranových rud.....	80
2.2.3. Rekultivace kalojemů.....	82
2.3. Odpady z výroby jaderného paliva.....	82
2.3.1. Hlavní zdroje odpadů v procesu výroby jaderného paliva.....	82
2.3.2. Zpracování odpadů z procesu výroby jaderného paliva.....	83
2.4. Radioaktivní odpady z provozu jaderných elektráren.....	84
2.4.1. Zdroje a formy radioaktivních odpadů v JE - LWR.....	84
2.4.2. Čištění kontaminovaných kapalných médií v JE	85
2.4.3. Zpracování a likvidace kapalných RAO v JE.....	88
2.4.4. Zpracování a likvidace plyných a pevných RAO v JE.....	89
2.4.4.1. Plyné RAO	89
2.4.4.2. Pevné odpady	90
2.5. Solidifikace radioaktivních odpadů.....	90
2.5.1. Přehled solidifikačních postupů a jejich aplikace	90
2.5.2. Cementace RAO.....	92
2.5.2.1. Principy a základní parametry cementačního procesu	92
2.5.2.2. Technologické postupy cementace RAO	93
2.5.3. Bitumenace RAO	95
2.5.3.1. Principy a základní parametry bitumenačního procesu.....	95
2.5.3.2. Technologické postupy bitumenace RAO.....	96
2.5.4. Solidifikace RAO organickými polyméry.....	97
2.5.5. Vitřifikace RAO	99
2.5.5.1. Principy a základní parametry vitřifikačního procesu.....	99
2.5.5.2. Technologické postupy vitřifikace RAO.....	101
3. Přeprava a ukládání RAO a vyhořelého jaderného paliva (VJP)	103
3.1. Přeprava RAO a VJP	103
3.1.1. Úvod	103
3.1.2. Obecné požadavky na přepravní kontejnery	104
3.2. Základní koncepce ukládání RAO a VJP	105
3.3. Typy úložišť a způsoby ukládání RAO a VJP	108
3.3.1. Ukládání nízkoaktivních odpadů.....	108
3.3.2. Ukládání středněaktivních odpadů	109
3.3.3. Ukládání VJP a VAO	110
3.3.3.1. Mezisklady VJP a VAO	110
3.3.3.2. Hlubinná úložiště VJP a VAO.....	113
3.3.3.2.1. Základní parametry HÚ a problematika jeho návrhu	113
3.3.3.2.2. Současné návrhy a projekty HÚ v horninových masivech.....	115
3.3.3.2.3. Bezpečnost hlubinného úložiště	118
3.3.3.2.4. Podzemní laboratoře a přírodní analogy hlubinného úložiště	119
3.4. Ukládání RAO a VJP v České republice.....	121
3.4.1. Současný stav	121
3.4.2. Program výstavby úložišť VJP.....	122
4. Transmutace aktinidů a štěpných produktů.....	123
4.1. Předmět a cíl transmutace.....	123
4.2. Principy transmutačních systémů.....	124
4.2.1. Transmutace ve standardních typech reaktorů	124
4.2.2. Transmutační systémy typu ADTT	125
4.3. Technologie palivových cyklů typu P/T	128

4.3.1. Principy palivových cyklů při transmutaci.....	128
4.3.2. Metody separace aktinidů a štěpných produktů.....	132
4.4. Závěry.....	134
5. Technologie výroby thoriového paliva.....	135
5.1. Výskyt thoria v přírodě a jeho použití.....	135
5.2. Technologie výroby Th - koncentráту z monazitových písků.....	136
5.3. Rafinace thoria kapalinovou extrakcí s TBP.....	138
5.4. Výroba palivových thoriových materiálů.....	139
5.5. Závěry.....	141
Doslov.....	142
Literatura.....	143
O b s a h.....	147