

Obsah

Předmluva.....	1
1. Přepřacování vyhořelých jaderných paliv	2
1.1. Historický úvod	2
1.2. Minulé 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 siliciumpkarbidové 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 $\text{UO}_2 + \text{PuO}_2$ (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, dvojstupňový 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
1.3.3.6.4.2. Zpracování odpadních konstrukčních materiálů palivových článků	51
1.3.3.6.4.3. 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. Kapalně 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. Vitifikace RAO	99
2.5.5.1. Principy a základní parametry vitifikačního procesu.....	99
2.5.5.2. Technologické postupy vitifikace 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