

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ	11
1 ÚVOD	19
2 HISTORICKÝ VÝVOJ ELEKTROMEMBRÁNOVÝCH PROCESŮ	21
3 ZÁKLADNÍ POJMY A ZÁKONITOSTI ELEKTROCHEMIE	25
3.1 Úvod	25
3.2 Základy elektrostatiky	25
3.3 Základní pojmy a zákonitosti elektrochemie	29
3.3.1 Základní pojmy elektrochemie	29
3.3.2 Základní zákony elektrochemie	31
3.4 Termodynamika elektrolytů	32
3.4.1 Chování roztoků elektrolytů	32
3.4.2 Transport hmoty v roztocích elektrolytů	34
3.4.3 Kapalinový (difúzní) potenciál	37
3.4.4 Pevné elektrolyty – iontově selektivní membrány	38
3.4.5 Transportní mechanismy v iontově selektivní membráně	38
3.4.6 Rovnováha na rozhraní iontově selektivní membrány a kapalného elektrolytu	39
3.5 Termodynamika dějů zahrnujících přenos elektronu	40
3.5.1 Klasifikace elektrochemických systémů	40
3.5.2 Elektrochemická rovnováha na fázovém rozhraní	42
3.5.3 Rozhraní elektronového vodiče a roztoku elektrolytu	44
3.5.4 Kinetika reakce přenosu elektronu	46
4 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ ELEKTROMEMBRÁNOVÝCH PROCESŮ	51
4.1 Úvod	51
4.1.1 Předmět matematického modelování elektromembránových procesů	53
4.1.2 Metody matematického modelování elektromembránových procesů	53
4.1.3 Transportní a transformační procesy	56
4.1.4 Proudění	57
4.1.5 Distribuce elektrického potenciálu při nulových tocích složek	57
4.2 Převodová čísla	58
4.3 Elektroneutrální binární elektrolyt	60
4.4 Limitní proud	62
4.4.1 Symetrický binární elektrolyt	62
4.4.2 Nesymetrický binární elektrolyt	67
4.5 Pole elektrického potenciálu v blízkosti membrány	72
4.5.1 <i>N</i> -Složkový elektrolyt	72
4.5.2 Binární elektrolyt	73
4.5.3 Pseudobinární elektrolyt	74
4.5.4 Ternární elektrolyt	75

4.6	Neideální membrána obklopená difuzními vrstvami	78
4.6.1	Ztráta selektivity pro vysoké koncentrace v koncentrátu	80
4.6.2	Vliv rozdílného složení v levé a pravé komoře	80
4.7	Trojrozměrný model proudění kapaliny v prostoru mezi membránami	83
4.7.1	Popis matematického modelu	84
4.7.2	Výsledky a diskuse	85
4.8	Základní kriteriální popis	87
4.9	Lokální bilance	91
4.9.1	Lokální bilance složek	91
4.9.2	Lokální bilance hmotnosti směsi	92
4.9.3	Lokální bilance elektrického náboje	92
4.9.4	Lokální bilance vnitřní energie	93
4.9.5	Lokální bilance hybnosti	94
4.9.6	Bilance mechanické energie – Bernoulliova rovnice	95
4.10	Podmínka elektroneutality	95
4.10.1	Zdůvodnění podmínky elektroneutality	95
4.10.2	Důsledky podmínky elektroneutality	96
4.11	Matematický dodatek	98
5	IONTOVĚ SELEKTIVNÍ MATERIÁLY A MEMBRÁNY	101
5.1	Membrány a membránové materiály	101
5.2	Charakteristické vlastnosti membrán a metodiky jejich stanovení	107
5.2.1	Příklady konkrétních analytických postupů	110
5.3	Výroba membrán	112
5.4	Vývojové membrány pro cílená využití	118
6	TRANSPORT LÁTEK IONTOVĚ SELEKTIVNÍMI MEMBRÁNAMI	121
6.1	Transport hmoty v iontově selektivních membránách	121
6.1.1	Permselectivita iontově selektivních membrán	122
6.2	Struktura a transportní vlastnosti iontově selektivních membrán	125
6.2.1	Iontově výměnná kapacita membrán	127
6.2.2	Obsah rozpouštědla – botnavost	127
7	ELEKTROMEMBRÁNOVÉ SEPARAČNÍ A SYNTÉZNÍ PROCESY I: ELEKTRODIALÝZA	129
7.1	Základní princip elektrodialýzy	129
7.2	Varianty procesu elektrodialýzy	132
7.2.1	Elektrodialýza pro iontovou záměnu	132
7.2.2	Elektrodialýza s bipolárními membránami	134
7.2.3	Základní technologické uspořádání	136
7.3	Přístupy k matematickému modelování procesu	138
7.3.1	Přenos hmoty v elektrodialýze	138
7.3.2	Ztráta napětí v elektrodialyzéru	144
7.3.3	Omezující faktory procesu elektrodialýzy	146
7.3.4	Rozložení elektrického proudu v elektrodialyzéru	158

7.4	Technologické uspořádání a navrhování procesu ED	167
7.4.1	Bilance obecné technologie ED	167
7.4.2	Navrhování technologií ED	170
7.4.3	Přenositelnost provozních dat z jednoho elektrodialyzéru na druhý	171
7.4.4	Metoda dělení diluátových komor	172
7.4.5	Metoda založená na lokální bilanci diluátu	173
7.4.6	Matematické úlohy pro jednotlivé provozní režimy	175
7.4.7	Optimalizace dráhy kapaliny a provozního režimu v konkrétní aplikaci	178
7.5	Konstrukce elektrodialyzérů	180
7.6	Provoz elektrodialyzérů	188
7.7	Spotřeba elektrické energie v procesu elektrodialýzy	191
7.8	Ekonomika elektrodialýzy	192
8	ELEKTROMEMBRÁNOVÉ SEPARAČNÍ A SYNTÉZNÍ PROCESY II: DALŠÍ METODY	195
8.1	Elektrodeionizace	195
8.1.1	Základní princip	195
8.1.2	Moduly s vrstveným ložem ionexů v diluátových komorách	198
8.1.3	Přístupy k matematickému modelování transportu hmoty v procesu elektrodeionizace	200
8.1.4	Navrhování technologií EDI	203
8.1.5	Provoz modulů EDI	207
8.1.6	Provozní náklady	210
8.1.7	Konstrukce deskového modulu pro elektrodeionizaci	211
8.1.8	Klasifikace modulů pro elektrodeionizaci	212
8.1.9	Výhody elektrodeionizace	217
8.1.10	Konkurenceschopnost elektrodeionizace	218
8.2	Kapacitní deionizace	219
8.2.1	Základní princip kapacitní deionizace	219
8.2.2	Použití kapacitní deionizace	221
8.3	Elektroforéza	222
8.3.1	Princip a základní popis kataforézní technologie	223
8.3.2	Výhody kataforézní povrchové úpravy	224
8.3.3	Provozní aplikace kataforézní technologie	225
8.3.4	Konstrukční uspořádání membránových cel	226
9	HLAVNÍ PRŮMYSLOVÉ APLIKACE ELEKTROMEMBRÁNOVÝCH SEPARAČNÍCH A SYNTÉZNÍCH PROCESŮ	231
9.1	Úvod	231
9.2	Použití v úpravě a zpracování vod	232
9.2.1	Odsolování brakických, komunálních a povrchových vod	232
9.2.2	Úprava vod na vodu speciální a ultračistou	235
9.2.3	Koncentrování roztoků	238
9.2.4	Zpracování odpadních průmyslových roztoků	242
9.3	Použití v potravinářství	244
9.3.1	Použití v mlékárenství	244
9.3.2	Použití ve vinařství a ovocnářství	248

9.4	Použití při čištění a výrobě chemických látek	250
9.4.1	Použití při čištění organických roztoků	250
9.4.2	Použití při výrobě organických a anorganických kyselin	250
10	MEMBRÁNOVÁ ELEKTROLÝZA	257
10.1	Konstrukční uspořádání elektrochemických membránových reaktorů	258
10.1.1	Konstrukce membránových elektrolyzérů	258
10.1.2	Zapojení elektromembránových cel	261
10.1.3	Materiály a konstrukce elektrod	262
10.1.4	Perfluorované membrány	265
10.2	Průmyslové aplikace membránové elektrolýzy	267
10.2.1	Membránová elektrolýza solanky	267
10.2.2	Membránová výroba ozonu	269
10.2.3	Membránová výroba peroxidu vodíku	270
10.2.4	Membránová elektrolýza v elektroorganické výrobě	270
10.2.5	Membránové kompresory/koncentrátory	272
11	ELEKTROMEMBRÁNOVÉ PROCESY PRO KONVERZI ENERGIE	277
11.1	Vodíková ekonomika	277
11.1.1	Palivové články	279
11.1.2	Elektrolýza vody	292
11.2	Redoxní průtočné baterie	298
11.2.1	Vanadová redoxní průtočná baterie	299
11.2.2	Další typy průtočných baterií	300
11.3	Reverzní elektrodialýza	302
11.4	Superkapacity	305