

# OBSAH

<b>PŘEDMLUVA</b>	<b>5</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ</b>	<b>13</b>
<b>1 MEMBRÁNOVÉ PROCESY A JEJICH HISTORIE</b>	<b>19</b>
1.1 Membrány a membránové procesy	19
1.2 Milníky vývoje membránových procesů	19
<b>2 TRANSPORT LÁTEK MEMBRÁNAMI</b>	<b>23</b>
2.1 Úvod	23
2.2 Transport látek porézními membránami	24
2.2.1 Plouživý tok nestlačitelných tekutin vrstvou částic	25
2.2.2 Tok stlačitelných tekutin vrstvou částic	30
2.2.3 Základní modely toku látek porézními membránami	32
2.3 Transport látek neporézními polymerními membránami	38
2.3.1 Difuze v polymerních membránách	40
2.3.2 Propustnost polymerních membrán	44
2.3.3 Závislost transportních parametrů na teplotě	47
2.3.4 Sorpce v polymerních membránách	47
2.3.5 Selektivita membrány	49
2.4 Transport hmoty a náboje v iontově výměnných membránách	50
2.4.1 Mechanismy transportu hmoty a náboje v elektrolytu	50
2.4.2 Iontově výměnná membrána jako tuhý elektrolyt	53
<b>3 MEMBRÁNOVÉ MATERIÁLY</b>	<b>67</b>
3.1 Úvod	67
3.2 Polymery	67
3.2.1 Závislost vlastností polymerů na molekulové hmotnosti	68
3.2.2 Krystalinita polymerů	69
3.2.3 Závislost fyzikálního stavu polymerů na teplotě	70
3.2.4 Rozpouštění polymerů	71
3.3 Membrány pro tlakové procesy	72
3.3.1 Membrány pro reverzní osmózu	73
3.3.2 Membrány pro nanofiltraci	74
3.3.3 Membrány pro ultrafiltraci	76
3.3.4 Membrány pro mikrofiltraci	77
3.4 Membrány pro elektromembránové procesy	79
3.4.1 Kationtově výměnné membrány	79
3.4.2 Aniontově výměnné membrány	81
3.4.3 Membrány pro palivové články	82
3.4.4 Bipolární membrány	83
3.4.5 Mozaikové membrány	84
3.4.6 Role membrány v elektromembránových procesech	84

3.5	Membrány pro separace plynů a par	87
3.5.1	Membrány pro separaci dvou inertních plynů	87
3.5.2	Membrány pro separaci dvou plynných látek, z nichž jedna má velkou afinitu k materiálu membrány	88
3.5.3	Příprava a struktura polymerních membrán pro separace plynů	89
3.6	Membrány pro pervaporaci	91
3.7	Anorganické membránové materiály	94
3.7.1	Architektura anorganických membrán, jejich textura a porézní systém	94
3.7.2	Funkce jednotlivých vrstev v architektuře anorganické membrány	95
3.7.3	Výroba základních těles nosičů a mikrofiltračních membrán	96
3.7.4	Příprava keramických separačních vrstev technikou sol-gel	97
3.7.5	Membrány se separační vrstvou na bázi zeolitů	100
3.7.6	Membrány se separační vrstvou na bázi mikroporézního uhlíku	101
3.7.7	Membrány s hustou separační vrstvou na bázi palladia a jeho slitin	103
3.7.8	Husté keramické membrány a keramické separační vrstvy pro selektivní transport kyslíku a vodíku	104
3.8	Hybridní membrány	105
3.8.1	Robesonova limita separační účinnosti čistě polymerních membrán	105
3.8.2	Typy hybridních membrán a problém mezifázové adheze	105
<b>4</b>	<b>TLAKOVÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY</b>	<b>109</b>
4.1	Úvod	109
4.2	Typy membrán	112
4.3	Charakterizace membrán	114
4.4	Membrány a moduly	119
4.4.1	Deskové moduly	120
4.4.2	Spirálně vinuté moduly	120
4.4.3	Trubkové moduly	121
4.4.4	Kapilární moduly	122
4.4.5	Moduly s dutými vlákny	122
4.5	Membránová zařízení	124
4.6	Procesní charakteristiky	125
4.6.1	Doba trvání procesu	125
4.6.2	Režim proudění nástřiku	127
4.6.3	Rozdíl tlaků nad membránou a pod ní	127
4.6.4	Koncentrace nástřiku	128
4.6.5	Vliv dalších parametrů	128
4.7	Mikrofiltrace	129
4.7.1	Základní popis	129
4.7.2	Aplikace mikrofiltrace	130
4.7.3	Souhrn	133
4.8	Ultrafiltrace	134
4.8.1	Základní popis	134
4.8.2	Aplikace ultrafiltrace	135
4.8.3	Souhrn	136

4.9	Nanofiltrace	136
4.9.1	Základní popis	136
4.9.2	Aplikace nanofiltrace	137
4.9.3	Souhrn	139
4.10	Reverzní osmóza	139
4.10.1	Základní popis	139
4.10.2	Aplikace reverzní osmózy	142
4.10.3	Souhrn	144
4.11	Metody intenzifikace	144
4.11.1	Metody vyžadující přerušení procesu	146
4.11.2	Metody nevyžadující přerušení procesu	147
4.11.3	Souhrn	152
<b>5</b>	<b>ELEKTROMEMBRÁNOVÉ PROCESY</b>	<b>155</b>
5.1	Úvod	155
5.2	Základní pojmy a zákonitosti elektrochemie	156
5.3	Elektromembránové separační procesy	158
5.3.1	Princip elektrodialýzy	158
5.3.2	Princip elektrodeionizace	163
5.3.3	Navrhování a provoz elektromembránových separačních zařízení	168
5.4	Membránová elektrolýza a elektroforéza	179
5.4.1	Konstrukce membránového elektrolyzéro	179
5.4.2	Konstrukce elektroforetické lázně	182
5.4.3	Průmyslové aplikace	183
5.5	Membránové systémy pro konverzi energie	186
5.5.1	Palivové články a elektrolýza vody	187
5.5.2	Další membránové systémy pro konverzi energie	200
<b>6</b>	<b>SEPARACE PLYNŮ A PAR</b>	<b>205</b>
6.1	Úvod	205
6.2	Průmyslové dělení směsí plynů nebo par	207
6.2.1	Separace vodíku	208
6.2.2	Separace helia	210
6.2.3	Separace oxidu uhličitého	211
6.2.4	Dělení vzduchu	211
6.2.5	Separace par organických látek	212
6.2.6	Separace vodních par	213
6.2.7	Separace zemního plynu a bioplynu	214
6.3	Perspektivy a trendy	215
<b>7</b>	<b>PERVAPORACE</b>	<b>219</b>
7.1	Úvod	219
7.1.1	Podstata pervaporačního procesu	219
7.1.2	Výkon pervaporační jednotky	220
7.1.3	Měrná spotřeba energie	223
7.1.4	Teplotní diference při pervaporaci	223
7.1.5	Pervaporační tok s koncentračně závislým difuzním koeficientem	224

7.2	Pervaporace v chemickém průmyslu	224
7.2.1	Hybridní procesy	224
7.2.2	Hydrofilní pervaporace v chemickém průmyslu	225
7.2.3	Organofilní pervaporace v chemickém průmyslu	227
7.2.4	Organoselektivní pervaporace v chemickém průmyslu	228
7.2.5	Pervaporace zvyšující výtěžnost chemické reakce	228
7.3	Pervaporace v potravinářském průmyslu	229
7.3.1	Zpracování aromat	229
7.3.2	Odstraňování alkoholu z nápojů	230
7.3.3	Odstraňování alkoholu z fermentačních živných roztoků	230
7.4	Perspektivy a nové trendy pervaporace	231

## 8 MEMBRÁNOVÉ REAKTORY 237

---

8.1	Úvod	237
8.1.1	Definice membránového reaktoru	239
8.1.2	Typy a uspořádání membránových reaktorů	240
8.2	Membránové bioreaktory	247
8.3	Pervaporační membránové reaktory	250
8.4	Katalytické membránové reaktory	251
8.4.1	Dehydrogenační reakce	251
8.4.2	Hydrogenační reakce	257
8.4.3	Oxidační reakce	258
8.5	Perspektivy a nové trendy membránových reaktorů	261

## 9 DIALÝZA A JEJÍ MODIFIKACE 265

---

9.1	Úvod	265
9.2	Difuzní dialýza	265
9.2.1	Transport složky membránou	266
9.2.2	Vsádková cela	268
9.2.3	Kontinuální dialyzér	271
9.3	Donnanova dialýza	275
9.4	Neutralizační dialýza	277

## REJSTŘÍK 279

---