

1.	MEZIFÁZOVÝ PŘESTUP LÁTKY V BIOREAKTORECH . . . . .	6
2.	FERMENTORY S PNEUMATICKÝM PROMÍCHÁVÁNÍM . . . . .	11
2.1	Fermentory bez nucené cirkulace fázi . . . . .	13
2.1.1	Probublávané reaktory prosté . . . . .	13
2.1.2	Probublávané reaktory s vnitřními vestavbami . . . . .	13
2.1.3	Fermentory s přirozenou cirkulací . . . . .	15
2.1.4	Kombinované patrové fermentory . . . . .	18
2.2	Fermentory s nucenou cirkulací kapaliny . . . . .	18
2.2.1	Ejektorové rozdělovače plynu . . . . .	18
2.3	Hydrodynamické parametry proplynovaných vrstev kapalin v reaktorech s pneumatickým promícháváním . . . . .	19
2.3.1	Definice probublávané vrstvy . . . . .	21
2.3.2	Režimy toku . . . . .	21
2.3.3	Velikost bublin . . . . .	24
2.3.3.1	Homogenní režim probublávání . . . . .	25
2.3.3.2	Rozvinutý turbulentní režim probublávání . . . . .	26
2.3.3.3	Průměr ekvivalentní bubliny $d_e$ . . . . .	27
2.3.4	Energie disipovaná v probublávaných vrstvách . . . . .	30
2.3.5	Mezerovitost vrstvy . . . . .	31
2.3.5.1	Homogenní režim probublávání . . . . .	31
2.3.5.2	Turbulentní režim probublávání . . . . .	33
2.3.5.2.1	Systémy s tendencí ke koalescenci bublin . . . . .	33
2.3.5.2.2	Systémy s potlačenou koalescencí . . . . .	33
2.3.6	Objemový koeficient přestupu látky $k_{La}$ . . . . .	34
2.3.7	Vliv přítomnosti povrchově aktivních látek na $k_L$ . . . . .	35
2.3.8	Axiální promíchávání fázi . . . . .	36
2.3.8.1	Axiální promíchávání kapaliny . . . . .	36
2.3.8.2	Axiální promíchávání plynu . . . . .	37
2.3.9	Rovnoměrné probublávané vrstvy kapaliny . . . . .	37
2.4	Výpočet hydrodynamických parametrů fermentorů s přirozenou cirkulací . . . . .	38
2.4.1	Rychlost kapaliny $w_L$ v reaktoru . . . . .	39
2.4.2	Mezerovitost v proplynované sekci reaktorů s přirozenou cirkulací . . . . .	42
2.4.3	Objemový koeficient přestupu látky $k_{La}$ . . . . .	43
2.4.4	Doba míchání . . . . .	45
2.4.5	Chlazení reaktorů . . . . .	45
3.	FERMENTORY S MECHANICKÝM MÍCHÁNÍM . . . . .	50
3.1	Základní hydrodynamické režimy při dispergaci plynu ve fermentorech . . . . .	50
3.1.1	Homogenizační účinky míchadel . . . . .	51
3.1.2	Výběr míchadel z hlediska příkonu energie . . . . .	52
3.1.3	Dispergační účinek míchadel . . . . .	54

	strana
3.2 Zvětšování měřítka míchaných fermentorů . . . . .	55
3.3 Návrhové parametry mechanicky míchaných fermentorů . . . . .	56
3.4 Typy míchadel užívaných ve fermentorech . . . . .	57
3.5 Rheologické vlastnosti fermentačních kapalin . . . . .	59
3.6 Vliv zvýšené viskozity kapaliny na parametry míchání . . . . .	62
3.6.1 Vzdálenost míchadel . . . . .	62
3.6.2 Přikon míchadel . . . . .	62
3.7 Problematika vlivu stříhových napětí ve fermentacích . . . . .	63
4. FERMENTORY PRO ANAEROBNÍ PROCESY . . . . .	66
4.1 Methanogeneze . . . . .	66
4.2 Mikrobiální kinetika anaerobního procesu . . . . .	68
4.3 Koncepce návrhu reaktoru . . . . .	72
4.4 Látkové bilance reaktoru . . . . .	74
4.4.1 Vsaďkový reaktor, biomasa volně rozptýlená v reaktoru, Monodova neinhibiční kinetika . . . . .	74
4.4.2 Kontinuální reaktor, model s difúzním biofilmem, ustá- lený stav bez náběhové periody . . . . .	75
4.4.3 Kontinuální fermentor, inhibiční kinetika . . . . .	76
4.5 Volba pístového toku nebo ideálního mísiče? . . . . .	77
5. BIOREAKTORY 2. GENERACE . . . . .	82
5.1 Reaktory s imobilizovanými enzymy nebo buňkami . . . . .	82
5.1.1 Typy reaktorů s imobilizovanými buňkami (enzymy) a je- jich aplikace . . . . .	83
5.1.2 Volba typu reaktoru . . . . .	88
5.1.3 Matematické modelování reaktorů s imobilizovanými en- zymy a buňkami . . . . .	90
5.1.3.1 Enzymové reaktory . . . . .	90
5.1.3.1.1 Kinetický režim . . . . .	90
5.1.3.1.2 Inhibice substrátem nebo produktem . . . . .	91
5.1.3.1.3 Inaktivace enzymu . . . . .	91
5.1.3.1.4 Vliv přestupu látky na rychlost biochemické reakce v reaktorech s imobilizovaným enzymem . . . . .	91
5.1.3.1.5 Kombinované efekty vnitřní a vněj- ší difúze . . . . .	93
5.1.3.1.6 Stanovení parametrů rychlosti rov- nice . . . . .	94
5.1.3.1.7 Vliv neideality toku na reakční rychlost . . . . .	94
5.1.3.2 Reaktory s imobilizovanými živými buňkami. . . . .	95
5.1.3.2.1 Produkce metabolitů . . . . .	97
5.1.3.3 Praktické úvahy o bioreaktorech s imobilizo- vanými enzymy a buňkami . . . . .	98

5.2	Membránové bioreaktory . . . . .	99
5.2.1	Matematické modelování membránových enzymových reaktorů . . . . .	103
5.2.1.1	Difúzní reaktor . . . . .	103
5.2.1.2	Reaktor s recyklem . . . . .	106
5.2.1.3	Reaktor s tokem přes podložku do vlákna . . . . .	108
6.	NETRADIČNÍ SEPARAČNÍ METODY V BIOTECHNOLOGII . . . . .	109
6.1	Membránové separace . . . . .	109
6.1.1	Klasifikace membránových procesů . . . . .	109
6.1.2	Transportní mechanismus . . . . .	110
6.1.3	Hlavní membránové procesy . . . . .	113
6.1.3.1	Membránové procesy v gradientu tlaku . . . . .	113
6.1.3.2	Procesy v gradientu elektrického potenciálu . . . . .	119
6.1.3.3	Membránové procesy v gradientu chemického potenciálu . . . . .	120
6.1.3.4	Technika kapalných membrán - pertrakce . . . . .	122
6.1.3.5	Permeace plynů . . . . .	124
6.1.3.6	Pervaporace . . . . .	125
6.1.4	Praktické uspořádání membránových separátorů . . . . .	125
6.2	Separace pomocí afinitní chromatografie . . . . .	127
6.3	Extrakce zkvalněnými a nadkritickými plyny . . . . .	130
7.	SPECIÁLNÍ PROBLEMATIKA BIOREAKTORŮ . . . . .	134
7.1	Cenové relace . . . . .	134
7.2	Tvar reaktorů a zvláštnosti fermentačního procesu . . . . .	135
7.2.1	Míchačí orgány . . . . .	135
7.2.2	Provdzušňování . . . . .	137
7.2.3	Přestup tepla . . . . .	137
7.2.4	Odpěňování . . . . .	137
7.3	Sterilizace . . . . .	138
7.3.1	Sterilizace bioreaktoru . . . . .	138
7.3.2	Sterilizace vzduchu . . . . .	139
8.	ZÁKLADY POČÍTAČOVÉHO ŘÍZENÍ FERMENTAČNÍCH PROCESŮ . . . . .	146
8.1	Strategie volby měřicích systémů a modelování fermentace . . . . .	146
8.1.1	Měřicí systém pro fermentační procesy . . . . .	147
8.2	Příklady dosavadního použití počítačů při optimalizaci fermentačního procesu a možnosti jeho řízení . . . . .	151
8.2.1	Použití počítače k řízení v reálném čase . . . . .	153
8.2.2	Počítačové řízení vsádkové fermentace . . . . .	157
8.3	Problematika měření stavových veličin . . . . .	158
8.4	Měření, on-line monitorování fermentorů . . . . .	161