

Obsah

Seznam vybraných symbolů a zkratek	10
Předmluva	15
1 Vymezení oboru	17
2 Specifická problematika biotechnologií a bioinženýrství	20
2.1 Procesy tepelné a chemické konverze biomasy	20
2.2 Biokonverze a enzymaticky katalyzované reakce	24
2.2.1 Kontinuální uspořádání procesů spojených růstem koncentrace buněk	26
2.2.2 Vliv kyslíku	27
2.2.3 Vliv teploty	30
2.2.4 Vliv pH	31
2.2.5 Reologické chování biosystémů	31
2.2.6 Vliv střihových napětí	32
2.2.7 Vliv „paměti buněk“	33
2.2.8 Imobilizace enzymů a buněk	34
2.3 Základní pojmy při kvantifikaci bioprocesu	35
2.4 Nesegregované a segregované informace	36
3 Inženýrská kinetika	37
3.1 Základy enzymové kinetiky	38
3.1.1 Odvození tvaru základní rovnice enzymové kinetiky pro homogenní systém	38
3.1.2 Katalytické působení enzymů	40
3.1.3 Reakce s jedním substrátem	41
3.1.4 Reakce se dvěma substráty	46
3.1.5 Inhibice reakčních rychlostí	48
3.2 Vliv transportních jevů na enzymovou kinetiku	54
3.2.1 Reakční rychlost v soustavách s imobilizovanými enzymy	55
3.3 Mikrobiální kinetika	65
3.3.1 Nestrukturované modely	66
3.3.1.1 Kinetika růstu koncentrace buněk	66
3.3.1.2 Inhibice růstu přebytkem substrátu	68
3.3.1.3 Inhibice růstu přebytkem produktu	69

3.3.1.4	Závislosti mezi růstem koncentrace buněk, spotřebou substrátu a tvorbou produktu.....	70
3.3.1.5	Kinetické modely pro tvorbu produktu.....	70
3.3.1.6	Určování parametrů formální mikrobiální kinetiky.....	73
3.3.2	Strukturované kinetické modely.....	74
3.3.3	Kinetika směsných kultur.....	75
4	Charakteristiky toku fází v zařízeních pro biotechnologie.....	78
4.1	Rozložení dob prodlení částic v reaktoru.....	80
4.2	Rozptyl rozložení dob prodlení.....	82
4.3	Výpočet konverze enzymaticky katalyzované reakce z údajů pokusu s označenou látkou.....	86
4.3.1	Lineární pochody.....	86
4.3.2	Nelineární kinetika.....	87
4.3.3	Ideálně míchaný průtočný reaktor.....	87
4.3.4	Reaktor s pístovým tokem.....	88
4.4	Modely neideálního toku.....	91
4.4.1	Model kaskády ideálních míšičů.....	92
4.4.2	Konverze v systému několika ideálních míšičů v sérii (kinetika Michaelise–Mentenové pro $K_M > s$).....	94
4.4.3	Disperzní model.....	96
4.4.4	Experimentální údaje o intenzitě promíchávání.....	99
4.4.4.1	Tok v trubkách.....	99
4.4.4.2	Axiální disperze kapalin tekoucích nepohyblivým a fluidním ložem částic.....	101
4.4.5	Enzymaticky katalyzovaná reakce a disperze.....	102
4.4.6	Kombinované modely.....	103
4.4.6.1	Určení mrtvých prostorů fermentoru z E -křivky.....	103
4.4.6.2	Zapojení ideální míšič–pístový tok a pístový tok–ideální míšič.....	105
5	Bioreaktory.....	106
5.1	Specifika enzymových a mikrobiálních reakcí při návrhu konstrukce reaktoru.....	108
5.2	Typy bioreaktorů.....	109
6	Kvantifikace mikrobiálního růstu ve fermentorech.....	112
6.1	Vsádkový fermentor.....	112
6.1.1	Základní látkové bilance složek ve vsádkovém reaktoru.....	112
6.1.2	Aproximativní modely růstové kinetiky ve vsádkovém reaktoru.....	118
6.2	Kontinuální fermentace.....	120
6.2.1	Látkové bilance kontinuální fermentace.....	121
6.3	Fermentace s řízeným nástřikem (fed-batch).....	125
6.3.1	Matematický model.....	127
6.3.2	Kontinuální nástřik limitujícího substrátu ($\dot{F}_V = \text{konst}$).....	129
6.3.2.1	Aproximativní řešení pro Monodovu kinetiku.....	130
6.3.2.2	Vliv energie spotřebované na zachování metabolických funkcí na průběh koncentrací x a s	132
6.3.3	Řízená fermentace s exponenciálním nástřikem.....	133
6.3.4	Optimalizace nástřiku.....	134
6.4	Jevy spojené s praktickou realizací mikrobiálního růstu.....	134

6.4.1 Vliv makrokinetických parametrů na interpretaci kinetických dat růstu buněk	139
6.5 Biologický testovací systém	143
6.6 Vliv parametrů toku na kinetiku mikrobiálního růstu	145
6.6.1 Dva ideálně míchané fermentory v sérii	146
6.6.2 Srovnání produktivity jednostupňové a dvoustupňové kultivace	148
6.6.3 Píštový tok v trubkovém reaktoru	150
6.6.4 Ideálně míchaný reaktor s recyklem	151
6.6.5 Fermentace v trubkovém reaktoru s recyklem	154
7 Mezifázový přestup látky v bioreaktorech	156
8 Fermentory s pneumatickým promícháváním	162
8.1 Fermentory bez nucené cirkulace fází	164
8.1.1 Probublávané reaktory prosté	164
8.1.2 Probublávané reaktory s vnitřními vestavbami	165
8.1.3 Fermentory s přirozenou cirkulací	166
8.1.4 Kombinované patrové fermentory	169
8.2 Fermentory s nucenou cirkulací kapaliny	170
8.2.1 Ejektorové rozdělovače plynu	170
8.3 Hydrodynamické parametry proplyňovaných vrstev kapalin v reaktorech s pneumatickým promícháváním	171
8.3.1 Definice probublávané vrstvy	172
8.3.2 Režimy proplyněné vrstvy	173
8.3.3 Velikost bublin	176
8.3.3.1 Homogenní režim probublávání	176
8.3.3.2 Rozvinutý turbulentní režim probublávání	178
8.3.3.3 Průměr ekvivalentní bubliny	179
8.3.4 Energie disipovaná v probublávaných vrstvách	181
8.3.5 Mezerovitost vrstvy	182
8.3.5.1 Homogenní režim probublávání	184
8.3.5.2 Turbulentní režim probublávání	185
8.3.6 Objemový koeficient přestupu látky	185
8.3.7 Vliv přítomnosti povrchové aktivních látek na k_L	187
8.3.8 Axiální promíchávání fází	189
8.3.8.1 Axiální promíchávání kapaliny	189
8.3.8.2 Axiální promíchávání plynu	190
8.3.9 Rovnoměrně probublávané vrstvy kapaliny	190
8.4 Výpočet hydrodynamických parametrů reaktorů s přirozenou cirkulací	191
8.4.1 Rychlost kapaliny v reaktoru	192
8.4.2 Mezerovitost v proplyňované sekci reaktorů s přirozenou cirkulací	195
8.4.3 Objemový koeficient přestupu látky	198
8.4.4 Doba míchání	200
8.4.5 Chlazení reaktoru	200
9 Fermentory s mechanickým mícháním	203
9.1 Základní hydrodynamické režimy při dispergaci plynu ve fermentorech	203
9.1.1 Homogenizační účinky míchadel	205
9.1.2 Výběr míchadel podle příkonu energie	206

9.1.3 Dispergační účinek míchadel	208
9.2 Zvětšování měřítka míchaných fermentorů	210
9.3 Návrhové parametry mechanicky míchaných fermentorů	211
9.4 Typy míchadel užívaných ve fermentorech	212
9.5 Reologické vlastnosti fermentačních kapalin	212
9.6 Vliv zvýšené viskozity kapaliny na parametry míchání	216
9.6.1 Vzdálenost míchadel	216
9.6.2 Příkon míchadel	217
9.7 Problematika vlivu střihových napětí ve fermentacích	217
10 Fermentory pro anaerobní procesy	220
10.1 Methanogeneze	221
10.2 Mikrobiální kinetika anaerobního procesu	221
10.3 Koncepce návrhu reaktoru	226
10.3.1 Reaktory se zakotveným filmem biomasy	227
10.4 Látková bilance reaktoru	228
10.4.1 Vsádkový reaktor, biomasa volně rozptýlená v reaktoru, Monodova neinhibiční kinetika	228
10.4.2 Kontinuální reaktor, model s difuzním biofilmem, ustálený stav bez náběhové periody	229
10.4.3 Kontinuální fermentor, inhibiční kinetika	230
10.5 Volba pístového toku nebo ideálního mísiče	231
11 Bioreaktory 2. generace	236
11.1 Reaktory s imobilizovanými enzymy nebo buňkami	236
11.1.1 Typy reaktorů s imobilizovanými enzymy (buňkami) a jejich aplikace	237
11.1.1.1 Reaktor s plněnou vrstvou biokatalyzátoru	237
11.1.1.2 Ideálně míchaný průtočný reaktor	240
11.1.1.3 Fluidní reaktory	240
11.1.2 Volba typu reaktoru	242
11.1.3 Matematické modelování reaktorů s imobilizovanými enzymy a buňkami	244
11.1.3.1 Enzymové reaktory	244
11.1.3.2 Reaktory s imobilizovanými živými buňkami	249
11.1.3.3 Praktické úvahy o bioreaktorech s imobilizovanými enzymy a buňkami	252
11.2 Membránové bioreaktory	252
11.2.1 Matematické modelování enzymových membránových reaktorů	256
11.2.1.1 Difuzní reaktor	256
11.2.1.2 Reaktor s recyklem	261
11.2.1.3 Reaktor s tokem přes podložku do vlákna	262
12 Netradiční separační metody v biotechnologiích	264
12.1 Membránové separace	264
12.1.1 Klasifikace membránových procesů	265
12.1.2 Transportní mechanismus	266
12.1.3 Hlavní membránové procesy	269
12.1.3.1 Membránové procesy v gradientu tlaku	269
12.1.3.2 Procesy v gradientu elektrického potenciálu	273

12.1.3.3	Membránové procesy v gradientu chemického potenciálu	276
12.1.3.4	Technika kapalných membrán – pertrakce	277
12.1.3.5	Permeace plynů	279
12.1.3.6	Pervaporace	280
12.1.4	Uspořádání membránových separátorů v praxi	280
12.2	Separace pomocí afinitní a iontoměničové chromatografie	283
12.3	Extrakce zkapalněnými a nadkritickými plyny	286
13	Speciální problematika bioreaktorů	289
13.1	Cena	289
13.2	Tvar reaktorů a zvláštnosti fermentačního procesu	290
13.2.1	Míchací zařízení	291
13.2.2	Provzdušňování	292
13.2.3	Přestup tepla	293
13.2.4	Odpěňování	293
13.2.4.1	Mechanické odpěňování	293
13.3	Sterilizace	294
13.3.1	Sterilizace bioreaktoru	294
13.3.2	Sterilizace vzduchu	295
13.3.2.1	Sterilizace vzduchu filtrací	296
14	Základy počítačového řízení fermentačních procesů	302
14.1	Strategie volby měřicích systémů a modelování fermentace	302
14.1.1	Měřicí systém pro fermentační procesy	303
14.2	Příklady použití počítačů při optimalizaci fermentačního a možnosti jeho řízení	308
14.2.1	Použití počítače k řízení fermentačního procesu v reálném čase	310
14.2.2	Počítačové řízené vsádkové fermentace	314
14.3	Problematika měření stavových veličin	314
14.4	Měření a monitorování fermentorů on-line	317
	Literatura	324
	Rejstřík	331