

Obsah

	Předmluva	12
1.	Notace pro popis biologických procesů čištění odpadních vod	13
1.1	Sestava symbolů a veličin	13
1.2	Dělení čistírenských procesů podle hladiny oxidačně-redukčních potenciálů	17
	Literatura	18
2.	Stanovení organických látek v odpadních vodách	19
2.1	Stanovení jako CHSK	19
2.2	Stanovení jako BSK	25
2.2.1	Rušivý vliv nitrifikace a nutnost jejího potlačení	29
2.2.1.1	Stanovení BSK ₅ v surových odpadních vodách	30
2.2.1.2	Stanovení BSK ₅ v biologicky vyčištěné vodě	30
2.2.1.3	Důvody pro potlačení nitrifikace při stanovení BSK ₅	32
2.3	Stanovení jako C _{org}	33
2.4	Vztahy mezi TSK, CHSK, BSK a C _{org}	34
	Literatura	38
3.	Biologická rozložitelnost organických látek	39
3.1	Stanovení biologické čistitelnosti průmyslových odpadních vod	43
3.1.1	Rozbor odpadních vod	44
3.1.2	Stanovení biologické čistitelnosti semikontinuálním pokusem	46
	Literatura	50
4.	Odpadní vody, jejich složení a množství a technologické linky čištění	50
4.1	Charakter znečišťujících látek a procesy používané k jejich odstraňování	50
4.2	Splaškové a městské odpadní vody	52
4.2.1	Složení a množství splaškových a městských odpadních vod	52
4.2.2	Technologická linka velkých a středních čistíren	57
4.2.2.1	Produkty středních a velkých čistíren odpadních vod	63
4.2.3	Technologická linka malých čistíren	65
4.2.4	Perspektivní způsob stabilizace a likvidace kalů z malých a středních čistíren odpadních vod	66
4.3	Průmyslové odpadní vody	67
4.3.1	Složení a množství průmyslových odpadních vod	69
4.3.2	Technologická linka s aerobním biologickým čištěním	70

4.3.3	Technologická linka s anaerobním předčištěním a s aerobním dočištěním	72
4.4	Společné čištění městských a průmyslových odpadních vod	73
4.5	Důležité zákony a předpisy ve vodním hospodářství v ČSFR	74
	Literatura	75
5.	Aerobní čištění směsnou kulturou ve vznosu	77
5.1	Růst a množství mikroorganismů	77
5.1.1	Jednorázové systémy. Růstová křivka	77
5.1.2	Kontinuální systémy bez recirkulace biomasy	84
5.1.3	Kinetické principy selekce mikroorganismů ve směsných kulturách	86
	Literatura	89
5.2	Kinetika odstraňování organických látek z odpadních vod směsnou kulturou	89
5.2.1	Jednosložkový substrát	90
5.2.2	Několikasložkový substrát	103
5.2.3	Komplexní substrát a mechanismus odstraňování organických látek z odpadních vod	107
5.2.4	Stanovení konstant $r_{X,m}$ a K_s	109
5.2.5	Akumulační kapacita	116
5.2.6	Kinetika odstraňování za současného odvětrávání	120
	Literatura	124
5.3	Aktivační proces	124
5.3.1	Vznik a vývoj aktivacího procesu	125
	Literatura	129
5.3.2	Směsná kultura zvaná aktivovaný kal	130
5.3.2.1	Flokulující aktivovaný kal	131
5.3.2.2	Neflokulující aktivovaný kal	133
5.3.2.3	Zbytnělý aktivovaný kal.	134
5.3.2.4	Způsoby potlačování vláknitého bytění aktivovaného kalu	137
5.3.2.5	Chemické složení biomasy směsné kultury a aktivovaného kalu.	146
	Literatura	151
5.3.3	Nejdůležitější technologické parametry aktivace	155
	Literatura	157
5.3.4	Základní způsoby kultivace směsné kultury.	158
5.3.4.1	Jednorázový (diskontinuální, batch) systém	158
5.3.4.2	Semikontinuální systém	159
5.3.4.3	Kontinuální systém s postupným tokem	162
5.3.4.4	Kontinuální systém s ideálním promícháváním (směšovací aktivace).	165
5.3.4.5	Stupeň podélného mísení v provozních nádržích s postupným tokem	167
5.3.4.6	Stupeň konverze v nádržích s postupným tokem a v nádržích směšovacích	169
	Literatura	174
5.3.5	Vliv různých faktorů na čisticí účinek aktivace	175
5.3.5.1	Vliv nerozpuštěných látek	176
5.3.5.2	Vliv mikrobiálních produktů vzniklých během čištění	177
5.3.5.3	Vliv doby zdržení	179
5.3.5.4	Vliv zatížení a stáří kalu	180

5.3.5.5	Vliv teploty	185
5.3.5.6	Vliv koncentrace rozpuštěného kyslíku.	186
5.3.5.7	Vliv pH	187
5.3.5.8	Vliv nutrientů	187
5.3.5.9	Vliv solnosti a těžkých kovů	188
	Literatura	190
5.3.6	Produkce biomasy a aktivovaného kalu	191
5.3.6.1	Bilance celkové biomasy.	192
5.3.6.2	Bilance jednotlivých složek biomasy.	195
5.3.6.3	Bilance primárních inertních látek	198
5.3.6.4	Výpočet koncentrace sušiny aktivovaného kalu v nádrži a produkce kalu.	199
5.3.6.5	Závislost koncentrace sušiny kalu na recirkulačním poměru a kalovém indexu	202
	Literatura	203
5.3.7	Spotřeba kyslíku a vzduchu	204
5.3.7.1	Reakce v aktivační nádrži spotřebovávající kyslík	204
5.3.7.2	Rovnice spotřeby kyslíku	205
5.3.7.3	Bilance odstraněného znečištění v kyslíkových jednotkách	206
5.3.7.4	Přestup kyslíku do vody.	207
5.3.7.5	Oxygenační kapacita	208
5.3.7.6	Faktory ovlivňující oxygenační kapacitu	209
5.3.7.7	Výpočet potřebné oxygenační kapacity a intenzity aerace	211
5.3.7.8	Aerátory používané při čištění odpadních vod	214
	Literatura	220
5.3.8	Přehled hlavních technologických modifikací aktivace	221
5.3.8.1	Dělení aktivačního procesu podle zatížení	221
5.3.8.2	Systémy s aerobní stabilizací kalu – malé ČOV	222
5.3.8.3	Termofilní aerobní stabilizace kalu	222
5.3.8.4	Klasické aktivační systémy.	228
5.3.8.5	Aktivace s oddělenou regenerací kalu	229
5.3.8.6	Dvoustupňová aktivace	230
5.3.8.7	Oběhové systémy – karuselová aktivace	230
5.3.8.8	Šachtová aktivace	231
5.3.8.9	Věžová aktivace	232
5.3.8.10	Selektorová aktivace	233
5.3.8.11	Adsorpční aktivace.	234
5.3.8.12	Kyslíková aktivace	235
5.3.8.13	Moderní aktivace	235
	Literatura	237
5.3.9	Biologické odstraňování anorganického dusíku z odpadních vod	237
5.3.9.1	Nitrifikace	238
5.3.9.2	Faktory ovlivňující rychlost nitrifikace	241
5.3.9.3	Biologická denitrifikace	242
5.3.9.4	Aktivace s nitrifikací a denitrifikací	245
	Literatura	249
5.3.10	Biologické odstraňování fosforu z odpadních vod	251
5.3.10.1	Mechanismus zvýšeného odstraňování fosforu	253
5.3.10.2	Aktivace se zvýšeným odstraňováním fosforu	254
	Literatura	256

5.3.11	Výpočet a navrhování aktivizačních systémů	258
5.3.11.1	Metody založené na zatížení	258
5.3.11.2	Kinetické modely	259
	Literatura	260
5.4	Stabilizační nádrže	260
5.4.1	Dělení stabilizačních nádrží	261
5.4.2	Mechanismus čištění odpadních vod ve stabilizačních nádržích	262
	Literatura	263
6.	Separace aktivovaného kalu od vyčištěné vody v dosazovacích nádržích	264
6.1	Technologické parametry dosazovacích nádrží.	264
6.2	Typy dosazovacích nádrží	265
6.3	Faktory ovlivňující účinnost separace v kruhových dosazovacích nádržích	268
	Literatura	270
7.	Aerobní čištění směsnou kulturou v biofilmových reaktorech	271
7.1	Úvod	271
7.1.1	Vývoj biofilmových reaktorů	271
7.1.2	Klasifikace biofilmových reaktorů.	273
	Literatura	274
7.2	Teorie biofilmových procesů	275
7.2.1	Charakteristika biofilmových systémů	275
7.2.1.1	Parametry biofilmu.	276
7.2.1.2	Mikrobiální složení biofilmu	280
7.2.2	Dynamika tvorby a růstu biofilmu.	284
7.2.3	Biofilmová kinetika.	287
7.2.3.1	Vliv transportních jevů	288
7.2.3.2	Matematické modely biofilmové kinetiky.	292
7.2.4	Důsledky biofilmové kinetiky pro konstrukci a provozování biofilmových reaktorů	295
	Literatura	298
7.3	Zkrápěné biologické kolony	301
7.3.1	Konstrukce a princip činnosti	302
7.3.1.1	Způsoby zkrápění	303
7.3.1.2	Náplně zkrápěných biologických kolon	304
7.3.2	Faktory ovlivňující čištění ve zkrápěných biologických kolonách	310
7.3.2.1	Povrchové hydraulické zatížení	310
7.3.2.2	Doba zdržení	311
7.3.2.3	Látkové zatížení	312
7.3.2.4	Výška lože	312
7.3.2.5	Typ, uspořádání a specifický povrch náplně	313
7.3.2.6	Složení a koncentrace odpadní vody.	314
7.3.2.7	Kvalita a aktivita biofilmu	315
7.3.2.8	Recirkulace	315
7.3.2.9	Teplota	316
7.3.3	Výpočty a navrhování zkrápěných biologických kolon	317
7.3.3.1	Metody empiricko-korelační	317
7.3.3.2	Kinetické modely	318

7.3.3.3	Kontrola návrhových postupů	318
7.3.4	Oblasti použití zkrápěných biologických kolon	320
7.3.4.1	Čištění splaškových a městských odpadních vod	320
7.3.4.2	Čištění průmyslových odpadních vod	320
7.3.4.3	Nitrifikace ve zkrápěných biologických kolonách	321
	Literatura	322
7.4	Biologické kolony s expandovaným a fluidním ložem	323
7.4.1	Expandované a fluidní lože	324
7.4.2	Konstrukce kolon s fluidním ložem	326
7.4.2.1	Distribuce vody	326
7.4.2.2	Nosiče biomasy	327
7.4.2.3	Řízení expanze lože, separace a odtah přebytečné biomasy	327
7.4.2.4	Recirkulace a dodávka kyslíku	328
7.4.3	Praktické aplikace	328
	Literatura	330
7.5	Rotační biofilmové reaktory	331
7.5.1	Konstrukce a princip činnosti	332
7.5.1.1	Rotační diskové reaktory	333
7.5.1.2	Rotační klecové reaktory	336
7.5.2	Základní parametry procesu	337
7.5.2.1	Látkové a hydraulické zatížení	337
7.5.2.2	Množství, produkce a doba zdržení biomasy	338
7.5.2.3	Teplota	339
7.5.2.4	Rozdělení kontaktní plochy do stupňů	339
7.5.3	Výpočty a navrhování rotačních biofilmových reaktorů	340
7.5.3.1	Metody empiricko-korelační	340
7.5.3.2	Metody empiricko-kinetické	341
7.5.3.3	Výpočet vícestupňového rotačního biofilmového reaktoru	341
7.5.3.4	Přenos dat na provozní měřítka	342
	Literatura	342
7.6	Reaktory s kombinovanou kultivací biomasy	345
7.6.1	Chování a vlastnosti soustavy nárostová-suspenzní biomasa	345
7.6.2	Systémy s oddělenou kultivací nárostové a suspenzní biomasy (dvou- a vícereaktorová uspořádání)	346
7.6.2.1	Zkrápěná biologická kolona a aktivace v sérii	346
7.6.2.2	Zkrápěná biologická kolona s krátkodobou aktivací	347
7.6.2.3	Zkrápěná biologická kolona s aktivací se společnou biomasou	349
7.6.3	Jednoreaktorové systémy kombinované kultivace	351
7.6.3.1	Aktivační nádrž s vestavěným nosičem biomasy	351
7.6.3.2	Aktivační nádrž s vestavěným rotačním biofilmovým reaktorem	352
7.6.3.3	Aktivační nádrž s nosičem biomasy ve vznosu	352
	Literatura	353
8.	Anaerobní čištění odpadních vod a stabilizace kalů	355
8.1	Úvod	355
8.1.1	Vývoj anaerobních čistírenských procesů	355
8.1.2	Porovnání aerobních a anaerobních procesů	357
	Literatura	358

8.2	Teorie procesu (Ing. Jana Záborská, CSc.)	359
8.2.1	Mechanismus a mikrobiologie anaerobního rozkladu	359
8.2.1.1	Hydrolytické a fermentační mikroorganismy	361
8.2.1.2	Acetogenní mikroorganismy produkující vodík	361
8.2.1.3	Homoacetogenní mikroorganismy.	362
8.2.1.4	Desulfurikační a denitrifikační mikroorganismy	363
8.2.1.5	Methanogenní mikroorganismy.	363
8.2.2	Mechanismus a mikrobiologie tvorby methanu	363
8.2.2.1	Taxonomie methanogenních mikroorganismů	365
8.2.2.2	Vliv teploty na tvorbu methanu	367
8.2.2.3	Vliv pH na tvorbu methanu	367
8.2.2.4	Biochemie tvorby methanu	369
8.2.2.5	Bioenergetika tvorby methanu	371
8.2.3	Regulační mechanismy v anaerobním procesu	371
8.2.3.1	Regulační úloha vodíku při acidogenezi	372
8.2.3.2	Experimentální potvrzení vlivu vodíku	375
8.2.3.3	Regulační úloha anorganických akceptorů vodíku	375
8.2.3.4	Regulační úloha methanogenních substrátů při methanogenezi	376
8.2.4	Bakteriální agregace v anaerobním procesu	378
	Literatura	380
8.3	Faktory ovlivňující methanizaci	381
8.3.1	Vliv teploty.	381
8.3.2	Vliv reakce prostředí.	383
8.3.3	Vliv koncentrace těkavých mastných kyselin	384
8.3.4	Vliv složení substrátu	385
8.3.5	Přítomnost toxických a inhibujících látek.	385
	Literatura	387
8.4	Anaerobní čištění odpadních vod	388
8.4.1	Přednosti a nevýhody.	388
8.4.2	Přehled reaktorů pro anaerobní čištění	390
8.4.3	Reaktory s biomasou v suspenzi	390
8.4.4	Reaktory s imobilizovanou biomasou	392
8.4.4.1	Reaktory s pevnou náplní.	394
8.4.4.1.1	Anaerobní filtr – reaktor s volně loženou náplní s průtokem zdola nahoru	394
8.4.4.1.2	Trubkový reaktor – reaktor s uspořádanou náplní s průtokem shora dolů	399
8.4.4.1.3	Reaktor s volně loženou náplní s průtokem shora dolů	405
8.4.4.2	Reaktor s pohyblivou náplní – anaerobní rotační diskový reaktor	405
8.4.4.3	Reaktory s náplní ve vznosu	406
8.4.4.3.1	Reaktor s fluidním ložem	407
8.4.4.3.2	Reaktor s expandovaným ložem	411
8.4.4.4	Reaktory s agregovanou biomasou	412
8.4.4.4.1	Reaktor s kalovým ložem a vnitřním separátorem biomasy	413
8.4.4.4.2	Reaktor s kalovým mralem a externím separátorem biomasy	418
8.4.4.4.3	Přepážkový reaktor.	419
8.4.4.5	Hybridní reaktor.	419
8.4.5	Zpracování reaktorů.	421
8.4.6	Volba typu anaerobního reaktoru.	423
	Literatura	426
8.5	Anaerobní stabilizace kalů	429
8.5.1	Současný stav technologie	431

8.5.2	Anaerobní reaktory pro stabilizaci kalů	434
8.5.3	Možnosti intenzifikace anaerobní stabilizace kalů	436
8.5.4	Vlastnosti a zpracování anaerobně stabilizovaného kalu	439
8.5.5	Kalová voda, její složení a čištění	443
8.5.6	Navrhování anaerobních reaktorů pro stabilizaci kalů	445
	Literatura	450
8.6	Bioplyn	451
8.6.1	Složení a vlastnosti bioplynu	451
8.6.2	Čištění bioplynu	451
8.6.3	Využití bioplynu	454
	Literatura	455
	Rejstřík	457