

OBSAH

1 ZÁKLADNÍ PROCESY A POSTUPY PRO ÚPRAVU VODY.....	11
1.1 Vodní zdroje, jímání a odběr vody.....	11
1.1.1 Podzemní vody.....	12
1.1.2 Povrchové vody.....	12
1.1.3 Zvyšování množství vodních zdrojů.....	13
1.1.4 Ochranná pásma vodních zdrojů.....	14
1.2 Doprava a rozvod vody.....	14
1.3 Potřeba vody.....	15
1.3.1 Nerovnoměrnost potřeby vody.....	15
1.4 Akumulace vody ve vodojemech.....	16
1.5 Spotřeba a ztráty vody.....	17
1.6 Technologické procesy úpravy pitné vody.....	18
1.6.1 Mechanické předčištění vody pro vodárenské účely.....	18
1.6.2 Úprava povrchových vod.....	19
1.6.2.1 Úprava vody čířením.....	19
1.6.2.2 Filtrace.....	22
1.6.2.3 Hygienické zabezpečení.....	24
1.6.3 Technologické postupy úpravy podzemní vody.....	25
1.6.3.1 Odkyselování.....	25
1.6.3.2 Odželezování a odmanganování.....	27
1.7 Odstraňování dalších specifických látek.....	28
2 ODPADNÍ VODY A JEJICH SLOŽENÍ.....	32
2.1. Charakter znečišťujících látek a procesy používané k jejich odstraňování... 33	33
2.2 Stanovení organických látek v odpadních vodách.....	34
2.2.1 Stanovení organických látek jako CHSK.....	35
2.2.2 Stanovení organických látek jako BSK.....	37
2.2.3 Stanovení organických látek jako TOC.....	38
2.2.4 Vztahy mezi ThSK, CHSK, BSK a TOC.....	39
2.3 Splaškové a městské odpadní vody.....	40

2.3.1	Složení a množství splaškových a městských odpadních vod.....	40
2.4	Technologická linka velkých a středních čistíren.....	43
2.5	Technologická linka malých čistíren.....	44
2.6	Centralizované a decentralizované čištění odpadních vod.....	45
2.7	Průmyslové odpadní vody.....	47
3	MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	50
3.1	Hrubé předčištění.....	50
3.2	Lapáky písku.....	51
3.2.1	Lapáky písku s horizontálním průtokem.....	52
3.2.2	Lapáky písku s vertikálním průtokem.....	54
3.2.3	Lapáky písku s příčnou cirkulací.....	55
3.3	Usazovací a zahušťovací nádrže.....	56
3.3.1	Prosté usazování.....	56
3.3.2	Rušené usazování.....	56
3.3.3	Zahušťování suspenzí.....	57
3.3.4	Usazovací nádrže.....	58
3.3.5	Zahušťovací nádrže.....	60
3.3.6	Navrhování usazovacích nádrží.....	60
3.3.7	Navrhování dosazovacích nádrží.....	63
3.4	Separace částic lehčích než voda.....	64
3.4.1	Technické provedení separátorů.....	64
4	OBECNÉ ZÁKLADY BIOLOGICKÝCH ČISTÍRENSKÝCH PROCESŮ.....	67
4.1	Terminologie biochemických procesů.....	67
4.1.1	Substrát.....	67
4.1.2	Zdroj uhlíku.....	67
4.1.3	Nutrienty.....	68
4.1.4	Kultivační podmínky.....	68
4.2	Růst a množení mikroorganismů.....	68
4.2.1	Růstová křivka.....	69
4.2.2	Kinetické principy selekce mikroorganismů ve směsných kulturách.....	72

4.3	kinetika odstraňování substrátu z odpadních vod směsnou kulturou.....	73
4.3.1	Jednosložkový substrát.....	73
4.3.2	Vícesložkový substrát.....	75
5	PRINCIPY AEROBNÍHO BIOLOGICKÉHO ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD..	76
5.1	Aktivovaný kal.....	76
5.1.1	Základní fyziologické a morfologické skupiny bakterií.....	76
5.1.2	Vyšší osídlení aktivovaného kalu (mikrofauna).....	78
5.2	Základní způsoby kultivace aktivovaného kalu.....	81
5.2.1	Jednorázový systém.....	81
5.2.2	Semikontinuální systém.....	82
5.2.3	Kontinuální systém s postupným tokem.....	82
5.2.4	Směšovací systém.....	83
5.3	Metabolismus organických sloučenin.....	85
5.3.1	Charakterizace organického substrátu v odpadní vodě.....	85
5.3.2	Odstraňování organických látek.....	87
5.4	Aktivační proces.....	89
5.4.1	Základní technologické parametry aktivačního procesu.....	90
5.4.2	Spotřeba kyslíku.....	91
5.4.2.1	<i>Reakce v aktivační nádrži spotřebovávající kyslík.....</i>	<i>91</i>
5.4.2.2	<i>Rovnice spotřeby kyslíku.....</i>	<i>93</i>
5.4.2.3	<i>Přestup kyslíku do vody.....</i>	<i>93</i>
5.4.3	Aerace aktivačních nádrží.....	94
5.4.3.1	<i>Pneumatická aerace.....</i>	<i>95</i>
5.4.3.2	<i>Mechanická aerace.....</i>	<i>98</i>
5.4.3.3	<i>Hydropneumatická aerace.....</i>	<i>99</i>
5.4.4	Technologické modifikace konvenčních aktivačních systémů.....	99
5.5	Biofilmové reaktory.....	106
5.5.1	Zkrápěné biologické kolony	106
5.5.2	Rotační biofilmové reaktory.....	110
5.5.3	Systémy s kombinovanou kultivací biomasy.....	111

6	BIOLOGICKÉ ODSTRAŇOVÁNÍ NUTRIENTŮ V AKTIVAČNÍCH SYSTÉMECH.....	113
6.1	Biologické odstraňování dusíku.....	113
6.1.1	Formy výskytu dusíku ve splaškových odpadních vodách.....	113
6.1.2	Degradace organických dusíkatých sloučenin.....	113
6.1.3	Nitrifikace.....	114
6.1.4	Denitrifikace.....	115
6.1.5	Aktivační systémy biologického odstraňování dusíku.....	116
6.1.5.1	<i>Aktivační systémy s predenitrifikací.....</i>	<i>117</i>
6.1.5.2	<i>Aktivační systémy se simultánní nitrifikací a denitrifikací.....</i>	<i>119</i>
6.1.5.3	<i>Aktivace s předřazenou denitrifikací a regenerací vratného aktivovaného kalu.....</i>	<i>120</i>
6.1.5.4	<i>Bioaugmentace.....</i>	<i>121</i>
6.2	Biologické odstraňování fosforu.....	122
6.2.1	Formy výskytu fosforu ve splaškových odpadních vodách.....	122
6.2.2	Princip biologického odstraňování fosforu.....	122
6.2.3	Aktivační systémy zvýšeného biologického odstraňování fosforu.....	124
6.2.3.1	<i>Aktivační systémy s odstraňováním fosforu v hlavní lince.....</i>	<i>124</i>
6.2.3.2	<i>Aktivační systémy s odstraňováním fosforu mimo hlavní linku.....</i>	<i>124</i>
6.3	Společné biologické odstraňování dusíku a fosforu.....	126
6.3.1	Problémy společného odstraňování dusíku a fosforu.....	126
6.3.2	Aktivační systémy biologického odstraňování dusíku a fosforu.....	126
6.3.3	Dimenzování aktivačních systémů biologického odstraňování nutrientů.....	128
7	SEPARACE AKTIVOVANÉHO KALU A VYČIŠTĚNÉ ODPADNÍ VODY..	130
7.1	Hodnocení separačních vlastností aktivovaného kalu.....	130
7.1.1	Kalový index.....	130
7.1.2	Zónová sedimentační rychlost.....	131
7.1.3	Mikroskopická analýza aktivovaného kalu.....	132
7.2	Separační problémy aktivovaného kalu.....	134
7.2.1	Disperzní růst bakterií.....	134
7.2.2	Tvorba neusaditelných mikrovloček.....	135

7.2.3	Viskózní (zoogloeální) bytnění.....	135
7.2.4	Vláknité bytnění.....	136
7.2.5	Tvorba biologické pěny.....	137
7.2.6	Vzplývání kalu.....	139
7.3	Ovlivňování separačních a zahušťovacích vlastností aktivovaných kalů.....	139
7.3.1	Identifikace vláknitých mikroorganismů.....	140
7.3.1.1	<i>Klasické (konvenční) metody.....</i>	<i>140</i>
7.3.1.2	<i>Identifikace do typů.....</i>	<i>141</i>
7.3.1.3	<i>Metody molekulární biologie.....</i>	<i>141</i>
7.3.2	Klasifikace vláknitých mikroorganismů.....	142
7.3.3	Kinetická selekce.....	144
7.3.4	Metabolická selekce.....	146
7.3.5	Nespecifické metody řízení separačních vlastností.....	147
7.3.5.1	<i>Poškozování vláknitých mikroorganismů toxikanty.....</i>	<i>147</i>
7.3.5.2	<i>Zatěžování vloček aktivovaného kalu.....</i>	<i>148</i>
7.3.5.3	<i>Manipulace s vratným kalem.....</i>	<i>148</i>
7.3.5.4	<i>Likvidace biologické pěny.....</i>	<i>149</i>
7.4	Dosazovací nádrže.....	149
7.4.1	Provoz a konstrukce dosazovacích nádrží.....	149
7.4.1.1	<i>Kruhové dosazovací nádrže s horizontálním průtokem.....</i>	<i>150</i>
7.4.1.2	<i>Pravoúhlé dosazovací nádrže s horizontálním průtokem.....</i>	<i>157</i>
7.4.1.3	<i>Dosazovací nádrže s vertikálním průtokem.....</i>	<i>158</i>
7.4.2	Technologické parametry dosazovacích nádrží.....	158
7.5	Membránová separace.....	160
7.5.1	Principy membránové technologie.....	160
7.5.2	Konstrukční řešení mikrofiltrace.....	161
7.5.3	Výhody a nevýhody membránové technologie, možnosti využití.....	163
8	ANAEROBNÍ ČISTÍRENSKÉ PROCESY, ANAEROBNÍ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	164
8.1	Teoretické základy.....	164
8.1.1	Porovnání aerobních a anaerobních procesů.....	164

8.1.2	Princip anaerobního rozkladu, jeho fáze, mikroorganismy jednotlivých fází.	166
8.1.3	Anaerobní rozložitelnost organických látek.....	170
8.2	Anaerobní čištění odpadních vod.....	170
8.2.1	Přednosti a nevýhody.....	171
8.3	Přehled reaktorů pro anaerobní čištění.....	173
8.3.1	Reaktory s biomasou v suspenzi.....	175
8.3.2	Reaktory s imobilizovanou biomasou.....	176
8.3.3	Biofilmové reaktory.....	177
8.3.3.1	<i>Anaerobní filtr.....</i>	<i>177</i>
8.3.3.2	<i>Trubkový reaktor - reaktor s uspořádanou náplní s průtokem shora dolů</i>	<i>178</i>
8.3.3.3	<i>Reaktor s volně loženou náplní s průtokem shora dolů.....</i>	<i>178</i>
8.3.3.4	<i>Anaerobní rotační diskový reaktor.....</i>	<i>178</i>
8.3.3.5	<i>Reaktory s fluidním a expandovaným ložem.....</i>	<i>178</i>
8.3.4	Reaktory s agregovanou (granulovanou) biomasou.....	179
8.3.4.1	<i>Reaktor UASB.....</i>	<i>180</i>
8.3.4.2	<i>EGSB.....</i>	<i>182</i>
8.3.4.3	<i>IC.....</i>	<i>182</i>
8.3.4.4	<i>Přepážkový reaktor.....</i>	<i>184</i>
8.3.4.5	<i>Hybridní reaktor.....</i>	<i>184</i>
8.3.4.6	<i>Reaktor se stupňovým kalovým ložem.....</i>	<i>184</i>
8.3.5	Zpracování anaerobních reaktorů.....	185
8.3.6	Volba typu anaerobního reaktoru.....	186
9	ZPRACOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ.....	188
9.1	Stabilizace a hygienizace kalů.....	189
9.2	Anaerobní stabilizace.....	191
9.3	Anaerobní reaktory pro stabilizaci kalů.....	193
9.4	Vlastnosti a zpracování anaerobně stabilizovaného kalu.....	196
9.5	Kalová voda, její složení a čištění.....	197
9.6	Bioplyn.....	198
9.6.1	Složení a vlastnosti bioplynu.....	198
9.6.2	Využití bioplynu.....	199

9.7	Využití kalů.....	199
10	FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ METODY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	201
10.1	Separace nerozpuštěných látek.....	201
10.1.1	Hydrocyklon.....	201
10.1.2	Filtrace.....	202
10.1.2.1	<i>Filtrace vrstvou zrnitého materiálu.....</i>	<i>203</i>
10.1.2.2	<i>Filtrace přes filtrační přepážku.....</i>	<i>204</i>
10.1.3	Flotace.....	207
10.1.4	Magnetická separace.....	211
10.2	Neutralizace.....	212
10.3	Srážení.....	217
10.3.1	Příklady srážení.....	219
10.3.1.1	<i>Srážení kationtů.....</i>	<i>219</i>
10.3.1.2	<i>Srážení aniontů.....</i>	<i>220</i>
10.4	Iontová výměna.....	220
10.4.1	Typy ionexů.....	221
10.4.2	Pracovní cyklus ionexu.....	222
10.4.3	Technické provedení iontové výměny.....	223
10.5	Adsorpce.....	224
10.5.1	Typy adsorpce a její příčiny.....	225
10.5.2	Adsorpční rovnováha, adsorpční izotermy.....	226
10.5.3	Adsorbenty používané v technologii vody.....	227
10.5.4	Hlavní faktory ovlivňují adsorpci.....	228
10.5.5	Technické provedení adsorpce.....	229
10.5.6	Regenerace vyčerpaných adsorbentů.....	229
10.6	Extrakce.....	230
10.7	Desorpce.....	233
10.8	Membránové separační procesy.....	234
10.8.1	Dělení membránových procesů a jejich principy.....	234
10.8.1.1	<i>Elektrodialýza.....</i>	<i>235</i>
10.8.1.2	<i>Dialýza.....</i>	<i>236</i>

10.8.1.3	<i>Mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace</i>	236
10.8.1.4	<i>Reverzní osmóza</i>	237
10.8.2	Typy membrán, jejich vlastnosti, membránové moduly.....	237
10.9	Chemická oxidace a redukce	240
10.9.1	Oxidace chlorem a jeho sloučeninami.....	242
10.9.2	Oxidace ozónem.....	243
10.9.3	Oxidace peroxidem vodíku.....	244
10.9.4	Oxidace manganistanem draselným.....	244
10.9.5	Oxidace kyslíkem.....	245
10.9.5.1	<i>Katalyzovaná oxidace kyslíkem</i>	245
10.9.5.2	<i>Oxidace kyslíkem za zvýšeného tlaku a teploty</i>	245
10.9.6	Pokročilé oxidační procesy.....	246
10.9.7	Chemická redukce.....	246
10.10	Rozklad stabilizovaných emulzí	246
10.10.1	Emulze.....	246
10.10.2	Rozbíjení emulzí.....	248
10.10.2.1	<i>Chemická deemulgace</i>	248
10.10.2.2	<i>Fyzikálně-chemická a mechanická deemulgace</i>	250
10.10.2.3	<i>Biologické čištění odpadních vod s obsahem ropných látek</i>	251