VSEBINA

Predgovor 15
1 UVOD 16
2 RAZVOJ RAVNANJA Z ODPADNIMI SNOVMI IN ČIŠČENJA ODPADNIH VOD 17
2.1 RAZVOJ OSNOVNIH POSTOPKOV ČIŠČENJA 23
2.2 PRIMARNO ČIŠČENJE 24
2.2.1 Biološki filtri 25
2.3 RAZVOJ PROCESOV ČIŠČENJA OD 1914 DO 1965 26
2.4 RAZVOJ PROCESOV ČIŠČENJA OD 1965 DO 2000 26
2.4.1 Odstranjevanje hraniv 27
2.5 RAZVOJ ČIŠČENJA ODPADNIH VOD PO LETU 2000 27
2.5.1 Obdelava in odlaganje blata 29
2.5.2 Računalniško modeliranje in kontrola delovanja čistilnih naprav 30
2.5.3 Rastlinske čistilne naprave 30
2.5.4 Anaerobno čiščenje odpadnih vod 31
2.5.5 Membranski postopki 31
2.6 RAZVOJ GOSPODARJENJA Z VODAMI OD LETA 1850 DO DANES 32
3 LASTNOSTI ODPADNIH VOD 34
3.1 FIZIKALNE LASTNOSTI ODPADNIH VOD 34
3.1.1 Trdne snovi 34
3.2.2 Motnost 35
3.1.3 Temperatura 36
3.1.4 Električna prevodnost 38
3.1.5 Barva 39
3.1.6 Vonjave 39
3.1.7 Koncentracija in specifična masa 40
3.2 KEMIJSKE LASTNOSTI ODPADNIH VOD 40
3.2.1 Klorid 41
3.2.2 Trdota 41
3.2.3 Vrednost pH 42
3.2 4 Alkaliniteta 43
3.2.5 Dušikove spojine 44
3.2.6 Fosfor 45
3.2.7 Žveplo 46
3.2.8 Plini 47
3.2.8.1 Topnost plinov v vodi 47
3.2.8.2 Idealni plinski zakon 47
3.2.8.3 Henryjev zakon za raztopljene pline 48
3.2.9 Kovine 49
3.2.10 Organske snovi 49
3.2.10.1 Biokemijska potreba po kisiku in biorazgradljivost 50
3.2.10.2 Kemijska potreba po kisiku 52
3.2.10.3 Teoretična kemijska potreba po kisiku 52
3.2.10.4 Celotni organski ogljik 53
3.2.10.5 Preskusi strupenosti 53
3.2.10.6 Obstojna organska onesnaževala (POP's) 56
3.3 BIOLOŠKE LASTNOSTI ODPADNIH VOD 57
3.3.1 Indikatorske bakterije 58
3.3.2 Bakterijska rast 58

3.3.3 Faze rasti 58
3.3.4 Specifična hitrost rasti bakterijskih celic kot funkcija časa 60
3.3.5 Omejitev hraniv 61
3.3.6 Encimska kinetika 62
3.3.7 Optimalna temperatura za biološko aktivnost 65
3.3.8 Učinek temperature na reakcijske hitrosti 65
3.4 LABORATORIJSKE PREISKAVE 66
4 MERJENJE PRETOKA ODPADNIH VOD 67
4.1 MERJENJE PRETOKA V ODPRTIH KANALIH 67
4.1.1 Trikotni jez 70
4.1.2 Pravokotni jez 71
4.1.3 Trapezoidni jez 72
4.1.4 Venturijev jez 73
4.1.5 Kafagi-Venturijev jez 73
4.2 MERJENJE PRETOKA V ZAPRTIH SISTEMIH 74
4.2.1 Merjenje magnetnega polja 74
4.2.2 Merjenje pretoka z Venturijevo cevjo 74
4.2.3 Merjenje pretoka z ultrazvokom 75
5 MONITORING ODPADNIH VOD 76
5.1 NAMEN MONITORINGA ODPADNIH VOD 77
5.2 IZVAJANJE MONITORINGA 77
6 VZORČENJE ODPADNIH VOD 80
6.1 NAČINI VZORČENJA IN VRSTE VZORCEV 80
6.2 VZORČENJE IN NAČRT ANALIZ 81
6.3 REPREZENTATIVNO VZORČENJE 81
6.4 NAPAKE PRI VZORČENJU ODPADNIH VOD 84
7 MEHANSKO ČIŠČENJE ODPADNIH VOD 85
7.1 ODSTRANJEVANJE GROBIH DELCEV 87
7.1.1 Grablje 88
7.1.2 Sita 91
7.1.3 Težave, ki se pojavljajo pri grabljah in sitih 93
7.1.4 Peskolovi 93
7.1.4.1 Gravitacijski peskolov 94
7.1.5 Ciklonski peskolovi 97
7.1.6 Čiščenje peskolovov 99
7.2 LOVILNIKI MAŠČOB – MAŠČOBNIKI 100
7.3 Usedalniki 100
7.3.1 Princip delovanja usedalnika 101
7.3.2 Pravokotni usedalniki 104
7.3.3 Okrogli usedalniki 105
7.3.4 Okrogli vertikalni usedalnik 107
7.4 BISTRILNIKI 108
7.4.1 Težave, ki nastanejo pri sekundarnem čiščenju zaradi primarnega čiščenja 108
7.5 FILTRACIJA 109
7.5.1 Površinska filtracija 109
7.5.2 Globinska filtracija 111
7.5.3 Membranska filtracija 112
7.5.4 Mikrofiltracija in ultrafiltracija 114
7.5.5 Reverzna osmoza 118
7.6 FLOTACIJA 120

7.6.1 Opis procesa ... 121
7.6.2 Flotacija z raztopljenim zrakom ... 121
7.6.3 Flotacija z dispergiranim zrakom ... 121
8 PREZRAČEVANJE IN PRENOS KISIKA V VODO ... 122
8.1 MEHANIZEM PRENOSA KISIKA V VODO ... 122
8.2 KOEFICIENT PRENOSA KISIKA ... 125
8.3 VPLIV SESTAVE ODPADNE VODE NA PRENOS KISIKA ... 125
8.3.1 Vpliv temperature na prezračevanje ... 126
8.4 POVRŠINSKO PREZRAČEVANJE ... 126
8.5 GEOMETRIJA REAKTORJA IN GLOBINA VNOSA ZRAKA ... 127
8.6 TIPI PREZRAČEVAL ... 127
8.6.1 Intenzivnost mešanja ... 132
8.6.2 Atmosferski tlak ... 132
8.7 MERJENJE PRENOSA KISIKA ... 132
9 ODPLINJANJE ... 134
9.1 ANALIZA ODPLINJANJA ... 134
9.2 LASTNOSTI SPOJIN, KI JIH ŽELIMO ODPLINJATI ... 134
9.3 METODE, UPORABLJENE ZA KONTAKTNO FAZO ... 137
9.4 ANALIZA MASNE BILANCE STOLPA ZA KONTINUIRANO IZGANJANJE ... 137
9.5 ODSTRANJEVANJE AMONIJAKA IZ ODPADNE VODE ... 140
10 IZRAVNAVA (EGALIZACIJA) ODPADNIH VOD ... 142
10.1 OPIS IN UPORABA ... 142
10.2 DIMENZIONIRANJE ... 142
10.3 LOKACIJA IZRAVNALNEGA BAZENA ... 142
10.4 IN-LINE ALI OFF-LINE IZRAVNAVA ... 143
10.4.1 Zahteve za volumen izravnalnega bazena ... 144
11 FIZIKALNO-KEMIJSKI POSTOPKI ČIŠČENJA ODPADNIH VOD ... 146
11.1 Koagulacija ... 146
11.1.1 Zeta potencial ... 147
11.1.2 Destabilizacija koloidov ... 149
11.1.3 Postopek koagulacije ... 149
11.2 FLOKULACIJA ... 152
11.3 ADSORPCIJA ... 155
11.3.1 Regeneracija in reaktivacija aktivnega oglja ... 156
11.3.2 Adsorpcijske izoterme ... 157
11.3.3 Freundlichova izoterma ... 157
11.3.4 Langmuirova izoterma ... 158
11.3.5 Adsorpcija mešanice spojin ... 158
11.3.6 Čiščenje z granuliranim aktivnim ogljem (GAC) ... 159
11.3.7 Čiščenje s prašnatim aktivnim ogljem (PAC) ... 160
11.4 IONSKA IZMENJAVA ... 160
11.4.1 Tipi ionskih izmenjevalcev ... 162
11.4.2 Reakcije ionske izmenjave ... 163
11.4.3 Izmenjalna kapaciteta ionske smole ... 164
11.4.4 Kemizem ionske izmenjave ... 164
12 KEMIJSKI POSTOPKI ČIŠČENJA ODPADNIH VOD ... 167
12.1 NEVTRALIZACIJA ... 167
12.1.1 Kislost in bazičnost (alkalnost) ... 167
12.1.2 Nevtralizacija v praksi ... 169
12.1.3 Nevtralizacija s kislino ... 170

12.2 OKSIDACIJA IN REDUKCIJA 171
12.2.1 Oksidacijsko-redukcijske reakcije 171
12.2.1.1 Praktična uporaba 173
12.2.2.2 Kemijska oksidacija organskih spojin 173
12.2.3 Napredni oksidacijski procesi 174
12.2.3.1 Teorija napredne oksidacije 174
12.2.3.2 Tehnologije, ki se uporabljajo za proizvodnjo hidroksilnih radikalov 174
12.2.3.3 Ozon/UV 175
12.2.3.4 Ozon/vodikov peroksid 176
12.2.3.5 Vodikov peroksid/UV 177
12.3 DEZINFEKCIJA 178
12.3.1 Fizikalni postopki 179
12.3.1.1 Ultravijolična dezinfekcija 179
12.3.2 Kemijski postopki 180
12.3.2.1 Kloriranje 180
12.3.2.2 Doza klora 182
12.3.2.3 Rezidualni (preostali) klor 182
12.3.2.4 Mešanje 182
12.3.2.5 Kontaktni čas 183
12.3.2.6 Sistemi za dekloriranje 184
12.3.3 Ozoniranje 184
12.3.4 Dezinfekcija s peroksidom (H_2O_2) 185
12.3.4.1 Prednosti 186
12.3.4.2 Slabosti 186
12.3.4.3 Pogoji dezinfekcije industrijskih odpadnih vod 186
12.4 OBARJANJE (PRECIPITACIJA) 187
12.4.1 Obarjanje težkih kovin 188
12.4.2 Obarjanje hidroksidov 189
12.4.3 Obarjanje sulfidov 190
12.4.4 Obarjanje karbonatov 191
12.4.5 Obarjanje kalcija 191
12.4.6 Obarjanje železa 191
12.4.7 Obarjanje barija 191
12.4.8 Obarjanje kadmija 192
12.4.9 Obarjanje kroma 192
12.4.10 Obarjanje bakra 193
12.4.11 Obarjanje svinca 193
12.4.12 Obarjanje živega srebra 193
12.4.13 Obarjanje niklja 194
12.4.14 Kompleksno obarjanje kovin 194
12.4.15 Odstranjevanje cianidov 195
13 BIOLOŠKI POSTOPKI ČIŠČENJA ODPADNIH VOD 196
13.1 NARAVNI SISTEMI ČIŠČENJA 198
13.1.1 Lagune 198
13.1.2 Namakalna polja 201
13.1.3 Rastlinske čistilne naprave 203
13.1.4 Prednosti in slabosti rastlinskih čistilnih naprav 207
13.2 SISTEMI BIOLOŠKEGA ČIŠČENJA Z AKTIVNIM BLATOM 207
13.3 MIKROBIOLOGIJA IN BIOKEMIJA AKTIVNEGA BLATA 210
13.3.1 Mikrobiologija 211

13.3.2 Biokemija 211
13.3.3 Osnovni cilji procesa 213
13.3.4 Odstranjevanje biorazgradljivih snovi (BPK) in nitrifikacija 213
13.3.5 Odstranjevanje CBPK in nitrifikacija 215
13.3.6 Procesne variante 216
13.3.7 Popolnoma premešan reaktor 216
13.3.8 Postopek s čepastim tokom 219
13.4 KONTINUIRANI PROCESI 220
13.4.1 Kontaktna stabilizacija 221
13.4.2 Postopno hranjenje 222
13.4.3 Proces s čistim kisikom 224
13.4.4 Podaljšano prezračevanje 225
13.4.5 Oksidacijski jarek 225
13.4.6 Modificirano prezračevanje 227
13.4.7 Intenzivno prezračevanje 228
13.4.8 Ločena nitrifikacija 228
13.4.9 Enostopenjska nitrifikacija 228
13.4.10 Kontrola procesa za odstranjevanje ogljikove BPK 229
13.4.11 Prezračevanje in kontrola raztopljenega kisika 229
13.4.12 Kontrola povratnega blata 230
13.4.13 Neposredna kontrola nivoja zgornje plasti blata 231
13.4.14 Usedljivost 231
13.4.15 Masna bilanca v bistrilniku 231
13.4.16 Masna bilanca prezračevalnika 232
13.4.17 Kakovost aktivnega blata 233
13.5 KONTROLA PROCESA Z AKTIVNIM BLATOM 233
13.5.1 Metode za kontrolo odpadnega aktivnega blata 233
13.5.2 Starost blata 234
13.5.3 Obremenitev blata 234
13.5.4 Koncentracija aktivnega blata 235
13.5.5 Kakovost blata 236
13.5.6 Kontrola procesa za nitrifikacijo 237
13.6 ŠARŽNI (SEKVENČNI) BIOLOŠKI REAKTOR (SBR) 239
13.6.1 Frekvenca enega cikla SBR 240
13.6.2 Nominalni hidravlični zadrževalni čas (HRT) 241
13.6.3 Trajanje posameznih faz v enem ciklu 241
13.6.4 Trajanje period v procesni fazi (faza reakcije) 242
13.6.5 Število reaktorjev 242
13.6.6 Starost blata (SRT) 243
13.6.7 Hidravlika v SBR 243
13.6.8 Možni procesi 244
13.6.9 Odstranjevanje ogljikovih spojin in nitrifikacija 244
13.6.10 Odstranjevanje hraniv 245
13.6.11 Odstranjevanje dušikovih spojin 246
13.6.12 Odstranjevanje fosforja 247
13.6.13 Simultano odstranjevanje dušika in fosforja 248
13.6.14 Kontrola procesa za SBR 248
13.7 ČIŠČENJE ODPADNE VODE Z AEROBNIM GRANULIRANIM BLATOM 249
13.8 SISTEMI S PRITRJENO BIOMASO 251
13.8.1 Zasnova biofiltrov 251

13.8.2 Precejalniki (prekapniki) 251
13.8.3 Rotirajoči biološki kontaktorji 255
13.8.4 Biofiltri 257
13.8.4.1 Uporaba biofiltrov 258
13.8.5 Reaktor s plavajočimi nosilci biomase (MBBR) 261
13.8.6 Potopni prezračevani filter 262
13.8.7 Integrirano fiksirano aktivno blato 263
14 TERCIARNO ČIŠČENJE 265
14.1.1 Nitrifikacija 267
14.1.2 Denitrifikacija 267
14.1.3 Sistem za odstranjevanje dušika s tremi conami 268
14.1.4 Tristopenjski sistem za odstranjevanje dušika 268
14.1.5 Sistem za odstranjevanje dušika s petimi conami 269
14.1.6 Sistemi v dveh stopnjah 270
14.1.7 Postdenitrifikacija 270
14.1.8 Preddenitrifikacija 271
14.2 ODSTRANJEVANJE DUŠIKA PO SISTEMU ANAMMOX 272
14.3 BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE FOSFORJA 273
14.3.1 Proces z glavnim tokom 273
14.3.2 Proces s stranskim tokom 274
14.3.3 Postopki za odstranjevanje hraniv 275
14.3.4 Postopki za odstranjevanje hraniv v reaktorjih s pritrjeno biomaso 277
14.4 POSTOPKI ZA PONOVNO PRIDOBIVANJE FOSFORJA IZ BIOLOŠKEGA BLATA 280
15 ANAEROBNO ČIŠČENJE ODPADNIH VOD 281
15.1 PRETOČNI ANAEROBNI SISTEMI 283
15.2 KONTAKTNI ANAEROBNI SISTEMI 284
15.2.1 Anaerobni sistemi z aktivnim blatom 284
15.2.2 Anaerobni sistem z granulirano biomaso (UASB) 284
15.2.2.1 Delovanje UASB procesa 285
15.2.2.2 Dimenzioniranje UASB procesa 286
15.2.2.3 Zbiranje plina in ločevanje trdnih snovi 290
15.2.2.4 Sistemi s statičnim nosilcem biomase 291
15.2.2.5 Sistemi s fluidiziranim nosilcem biomase 291
16 SODOBNEJŠI POSTOPKI BIOLOŠKEGA ČIŠČENJA 292
16.1 MEMBRANSKI BIOREAKTOR 292
16.1.1 Hidravlika MBR 296
17 ELEKTROKEMIJSKI POSTOPKI ČIŠČENJA ODPADNIH VOD 298
17.1 ELEKTRODEPOZICIJA 300
17.2 ELEKTROKOAGULACIJA IN ELEKTROFLOTACIJA 301
17.3 ELEKTROOKSIDACIJA 303
17.4 ELEKTROREDUKCIJA 305
17.5 ELEKTRODEZINFEKCIJA 305
18 PONOVNA UPORABA PREČIŠČENE VODE 307
18.1 APLIKACIJE ZA PONOVNO UPORABO VODE 307
19 OBDELAVA BLATA IZ BIOLOŠKIH ČISTILNIH NAPRAV 309
19.1 IZVOR IN LASTNOSTI BLATA NA ČISTILNIH NAPRAVAH 309
19.2 SESTAVA BLATA 311
19.3 POMEMBNE KOMPONENTE V BLATU 312
19.4 KOLIČINE BLATA 314

19.5 RAZMERJA KONCENTRACIJE, MASNEGA ODSTOTKA IN GOSTOTE BLATA ... 316
19.6 OBDELAVA BLATA ... 316
19.7 ZGOŠČEVANJE BLATA ... 318
19.7.1 Gravitacijsko zgoščevanje ... 319
19.7.2 Flotacijsko zgoščevanje z zrakom ... 320
19.7.3 Gravitacijski tračni zgoščevalnik ... 321
19.8 KONDICIONIRANJE BLATA ... 322
19.8.1 Toplotno (termično) kondicioniranje ... 324
19.9 STABILIZACIJA BLATA ... 324
19.9.1 Anaerobna presnova ... 324
19.9.1.1 Biokemijske reakcije v anaerobni presnovi ... 324
19.9.2 Dejavniki, ki vplivajo na anaerobno presnovo ... 326
19.9.3 Temperatura ... 328
19.9.4 Redoks potencial ... 329
19.9.5 Razmerje C : N in inhibicija z amonijem ... 329
19.9.6 Vrednost pH ... 331
19.9.7 Inhibitorne (zaviralne) snovi ... 332
19.9.8 Soobdelava blata in biološko razgradljivih odpadkov ... 333
19.10 TEHNOLOGIJA ANAEROBNEGA PROCESA ... 335
19.10.1 Predobdelava substratov ... 336
19.10.2 Proces anaerobne presnove ... 338
19.10.3 Obdelava substrata po anaerobni presnovi ... 341
19.10.4 Proizvodnja bioplina, skladiščenje, obdelava in uporaba ... 341
19.11 AEROBNA PRESNOVA ... 346
19.11.1 Nizkotlačna oksidacija ... 348
19.12 ODSTRANJEVANJE VODE IZ SUSPENDIRANIH SNOVI ... 348
19.12.1 Centrifuge ... 348
19.12.2 Tračna filtrirna stiskalnica ... 349
19.12.3 Stiskalnice s ploščami in okvirji ... 349
19.12.4 Vakuumski filtri ... 350
19.12.5 Sušilne grede ... 350
19.13 ZMANJŠEVANJE KOLIČINE BLATA ... 351
19.13.1 Sežigalnice ... 351
19.13.2 Termični (toplotni) sušilniki ... 351
19.14 SISTEMI ZA KORISTNO UPORABO BLATA ... 352
19.14.1 Kompostiranje ... 352
19.14.2 Alkalna stabilizacija ... 353
19.14.3 Higienizacija ... 354
19.14.4 Sosežig ... 354
19.14.5 Piroliza ... 355
19.15 KONČNA OBDELAVA BLATA ... 356
20 ČISTILNE NAPRAVE BODOČNOSTI ... 359
21 PRIPOROČLJIVA LITERATURA ... 360
21.1 KNJIGE ... 360
21.2 POMEMBNEJŠI SPLETNI NASLOVI ... 360
SEZNAM SLIK ... 361
SEZNAM TABEL ... 366