

ÖLLŐS GÉZA – OLÁH JÓZSEF – PALKÓ GYÖRGY

Rothasztás

(szakkönyv)

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés.	15
Köszönetnyilvánítás. 17	
1. AZ ANAEROB LEBONTÁS ALAPJAI	.19
1.1. A biológiai reakciók termodinamikai alapjai.	19
1.2. A komplex anaerob lebontási folyamat	24
1.2.1. Szintrófizmus szerepe az anaerob lebontásban	26
1.3. Hidrolízis	32
1.3.1. Hidrolízist befolyásoló tényezők	.35
1.3.2. A nyersiszap hidrolízise	.43
1.4. A savtermelő fázis jellemzése	.44
1.4.1. A savtermelő baktérium populáció	47
1.4.2. A savtermelő populáció anyagcseréje	53
1.4.3. A savtermelést befolyásoló fontosabb tényezők	.61
1.5. A metántermelő populáció és a lebontás	69
1.5.1. Extracelluláris biopolimerek (ECP) szerepe az anaerob lebontásban	73
1.5.2. A metántermelő baktériumok anyagcseréje és tápanyag igénye	76
1.5.3. A metántermelő folyamat környezeti és molekuláris szabályzása	.87
1.5.3.1. A környezeti tényezők hatása.	90
1.5.4. Szubsztrát hasznosítás és szulfi d toxicitás összefüggése	.97
1.6. A szulfát-redukció	101
1.6.1. A szulfát-redukáló baktériumok szerepe a savképzésben	102
1.6.2. A szulfát-redukáló és a metántermelő baktériumok kapcsolata	106
1.6.3. A szulfát-redukáló és a metántermelő baktériumok szubsztrát-versenye	109
1.6.4. A szulfát-redukciót befolyásoló tényezők	116
1.7. A hidrogén-termelés	124
1.7.1. A biohidrogén-termelés alapjai	125
1.7.2. A sav- és hidrogéntermelés kapcsolata	.128
1.7.3. A biohidrogén előállítása különböző szubsztrátokból	.130
1.7.4. A környezet hatása hidrogén-termelésre	.134
1.7.5. Hidrogén-termelés a különböző kialakítású anaerob reaktorokban	.139
1.8. Gátló hatások	.143
1.8.1. A hosszú-szénláncú zsírsavak toxicitása	145
1.8.2. Különböző vegyületek hatása a metántermelő baktériumok aktivitására	149
1.8.2.1. Cianid-ionok gátló hatása és lebontása	.155
1.8.2.2. Az ammónia és a kénhidrogén gátló hatása.	158
1.8.2.3. A szén-tetraklorid hatása	159

1.8.2.4. A kloroform toxikus hatása a metántermelésre	160
1.8.3. A környezeti tényezők és a gátlás kapcsolata	161
1.8.4. Fém-ionok hatása az anaerob rothasztásra	165
1.8.4.1. A nehézfém-ionok kötődése az iszaphoz	165
1.8.4.2. A metilezés és a hidrogén-ion koncentráció hatása a nehézfém-ionokra	169
1.8.4.3. Nehézfém-ionok komplex-képződési sajátosságai	170
1.8.4.4. A nehézfém-ionok gátló hatása	173
1. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	187
1. fejezet irodalom	190
2. AZ ANAEROB LEBONTÁSI FOLYAMAT KINETIKAI JELLEMZÉSE	201
2.1. A lebontási folyamat kinetikai leírásának célja	201
2.2. A kinetikai alap-összefüggések ismertetése	201
2.2.1. A baktériumok szaporodása.	202
2.2.2. Szaporodási sebesség	204
2.2.3. Szaporodási állandó	207
2.2.4. A tápanyag igény és a szaporodási sebesség összefüggése.	208
2.2.5. Szubsztrát eltávolítási sebesség és a lebontási hatások kapcsolata	210
2.2.6. A termékképződési sebesség leírása.	212
2.2.7. A folyamatos baktérium szaporodás anyagmérlege	213
2.2.8. A szubsztrát összetétel hatása	215
2.2.9. A hőmérséklet hatása	216
2.3. Az anaerob rothasztás modellezése	217
2.3.1. A részfolyamatok leírása	217
2.3.1.1. A nagy szerves molekulák hidrolízise és a savtermelés	218
2.3.1.2. Rövid szén-láncú illósavak képződésének mechanizmusa	221
2.3.1.3. Nem-disszociált illósav gátló hatását leíró modell	225
2.3.1.4. A illósav-termelés toxikus hatású 2,4-diklórfenol jelenlétében	226
2.3.1.5. Az összes illósav gátló hatását leíró modell	228
2.3.1.6. Metántermelés	230
2.3.1.7. A különböző összetételű szennyvizek lebontását leíró elvi modellek	232
2.3.1.8. A hidrogén képződés és felhasználás modellezése	233
2.3.1.9. Ammónia-inhibíciós modellje	235
2.4. Fontosabb kinetikai modellek alkalmazása	236
2.4.1. A kétlépcsős anaerob reaktor modellezése.	238
2.4.2. Komplex anaerob lebontási folyamat jellemzése	240
2.4.3. Kommunális eredetű szennyvíziszapok anaerob lebontási modellje	242
2.4.4. Anaerob rothasztási folyamatot leíró IWA modell No 1(ADM1)	244

2.4.4.1. IWA No.1 (ADM1) modell módosítása	249
2.4.5. Cape Town-i Egyetem lebontási modellje (UCTADM 1)	252
2.4.6. Szulfát redukció kinetikai modellje	256
2.5. A kinetikai modellek alkalmazásának összefoglaló értékelése	258
2. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	259
2. fejezet irodalom.	265
3. KÜLÖNBÖZŐ SZERVES VEGYÜLETEK ANAEROB LEBONTÁSA	269
3.1. A xenobiotikus anyagok hatása a környezetre	269
3.1.1. Az anaerob biológiai-bonthatóság kérdése.	269
3.1.2. A toxikus szerves vegyületek anaerob lebontása	271
3.2. Az aromás vegyületek anaerob lebontása	272
3.2.1. BTEX vegyületek lebontása.	275
3.2.2. Fenol-tartalmú szennyvizek anaerob tisztítása	277
3.2.2.1. A fenol lebontása UASB reaktorban	281
3.2.2.2. Króm (VI) redukció és fenol lebontás kapcsolata	286
3.3. Klórozott szénhidrogének lebontása	287
3.3.1. Klórtartalmú vegyületek deklórozása redukzív viszonyok között.	287
3.3.2. A 2-klórfenol (2-CP) dehalogénezése	289
3.3.3. A klórfenolok bonthatósága és toxicitása.	291
3.3.4. Pentaklórfenol lebontása	293
3.3.4.1. Az anaerob iszap PCP bioszorpciója	297
3.3.5. Klórbenzol és klóranilin anaerob lebontása.	298
3.3.5.1. Klórtartalmú vegyületek deklórozási mechanizmusa	300
3.3.5.2. Klórozott aromás vegyületek oxidációja	301
3.3.6. AOX vegyületek	302
3.3.7. Policiklikus bifenilek (PCB)	303
3.3.7.1. A metántermelő populáció akklimatizálódása a poliklórozott vegyületekhez	306
3.3.8. Klórozott alifás szénhidrogének biológiai lebontása	307
3.3.8.1. Kloroform lebontása	310
3.3.8.2. Triklóretilén (TCE)	316
3.3.8.3. A klóretán anaerob lebontása	317
3.3.8.4. A tetraklór-etilén (PCE)	318
3.3.8.5. Alifás szerves klórvegyületek toxikus hatása	319
3.4. Felületaktív anyagok anaerob lebontása.	320
3.4.1. A felületaktív anyagok gátló hatása	322
3.4.2. Anionos felületaktív anyagok lebontása.	323
3.4.2.1. Lineáris alkilbenzolszulfonát gátló hatása	326

3.4.3. Nem-ionos felületaktív anyagok lebontása.	327
3.4.4. Felületaktív anyagok lebontása fi x-ágyas reaktorokban.	330
3.5. A policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) anaerob lebontása	332
3.5.1. Lebontás metanogén viszonyok között	334
3.6. Ftálsav-észterek lebontása	337
3.7. Peszticidek lebontása	341
3.8. Nitro vegyületek	344
3.8.1. Nitroglicerín anaerob lebontása	344
3.8.2. Nitrofenol származékok anaerob lebontása	346
3.9. Azo-származékok anaerob-aerob lebontása.	348
3.10. Egyéb vegyületek anaerob bontása	350
3.10.1. A formaldehid szakaszos lebontása	350
3.10.2. Humusz-anyagok anaerob lebontása	354
3.10.3. Brómetánszulfonsav (BES)	356
3.10.4. Triklórecetsav (TCAA)	358
3.10.5. Nitrilotriecetsav	358
3.10.6. A hexaklór-1,2-butadién (HCBD) reduktív deklórozása	359
3. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	360
3. fejezet irodalom:	364
4. ANAEROB SZENNYVÍZTISZTÍTÁS	373
4.1. Biofi lm kialakulását befolyásoló tényezők vizsgálata	373
4.1.1. Hordozóanyagok tulajdonságai	373
4.1.2. A szubsztrát koncentráció szerepe	376
4.1.3. Hőmérséklet.	378
4.1.4. Mikrobiológiai jellemzők.	378
4.1.5. Kationok és anionok szerepe	380
4.2. A szennyvíztisztításban alkalmazott reaktor típusok és azok kapcsolata	381
4.2.1. Az UASB és az EGSB reaktorok összehasonlítása	389
4.2.1.1. UASB anaerob reaktor	390
4.2.1.2. EGSB anaerob reaktor	392
4.2.2. Anaerob fluid-ágyas reaktor	395
4.2.3. Anaerob rögzített-fi lmes reaktor	398
4.2.3.1. Lefelé-áramló, rögzített-fi lmes reaktor	403
4.2.3.2. Merülő-tárcsás anaerob reaktor	408
4.2.4. Szakaszos üzemű, anaerob reaktor (ASBR)	411
4.3. UASB reaktor alkalmazása a szennyvíztisztításban	413
4.3.1. „Bioszemcsés” iszapszerkezet kialakulása	414

4.3.2. Az UASB reaktor kialakítása	416
4.3.3. A bioszemcse képződés jellemzése	417
4.3.4. A bioszemcse szerkezete	424
4.3.4.1. A bioszemcsékben kialakuló baktérium tenyészet jellemzése	427
4.3.4.2. A mezofil és a termofil fermentatív fajok jelenléte az anaerob bioszemcsékben	431
4.3.5. Az UASB reaktorok üzemelési tapasztalatai	432
4.3.5.1. A hosszú szén-láncú zsírsavak bioszorpciója	434
4.3.5.2. A hőmérséklet emelkedés hatása mezofil jellegű UASB reaktor üzemére	436
4.3.5.3. Az anaerob bioszemcsék kialakulásának üzemi feltételei	438
4.3.5.4. A terhelés hatása a bioszemcse kialakulási folyamatára	439
4.3.5.5. A szintetikus és természetes polimerek hatása az anaerob bioszemcsék képződésére	445
4.3.5.6. A tárolási idő és a hőmérséklet hatása a bioszemcsék aktivitására	450
4.3.5.7. A fenol toxikus hatása az anaerob bioszemcsék működésére	452
4.4. Különböző típusú reaktorok üzemelési tapasztalatai	453
4.4.1. Felfelé áramló, rögzített-filmes, anaerob reaktor.	453
4.4.2. UASB reaktor és az expandált-ágyas (EGSB) reaktor összekapcsolása	455
4.4.3. Hidrolizált fehérjét tartalmazó szennyvíz tisztítása UASB reaktorral	456
4.4.4. Szippantott szennyvíz tisztítása UASB reaktorral	457
4.4.5. Roncsolt eleveniszap lebontása rögzített-filmes reaktorban	459
4.4.6. A kalcium-karbonát csapadék hatása a biomassza fejlődésére.	460
4.4.7. A cellulóz-alapú lebegőanyag viselkedése anaerob fix-ágyas reaktorban	463
4.4.8. Kis-töménységű szennyvizek tisztítása anaerob terelőfalas reaktorral és anaerob szűrővel	466
4.4.9. Az anaerob terelőfalas reaktor alkalmazása a szennyvíztisztításban	470
4.4.10. Membrán-bioreaktorok alkalmazása az anaerob szennyvíztisztításban	481
4.4.11. Savas és szulfát-tartalmú szennyvizek tisztítása anaerob szűrővel	486
4.4.12. Ipari eredetű szennyvíz fluid-ágyas tisztítása	490
4.4.13. Üzemi paraméterek változásának hatása a szulfát-redukcióra	491
4.4.14. A fix ágyas anaerob rothasztó válasza a toxikus terhelési „lökésekre”	492
4.4.15. Az elfolyó vízminőség és a terhelés kapcsolata	494
4.5. Az anaerob szűrők kialakításának szempontjai	497
4.6. Ipari eredetű szennyvizek anaerob tisztítása	499
4.6.1. Az ipari eredetű szennyvizek anaerob tisztításának általános értékelése	499
4.6.2. Szerves-vegyipari eredetű szennyvizek tisztítása	505
4.6.3. A kőolajipari szennyvizek anaerob bonthatósága	506
4.6.4. Metanol és etanol tartalmú szennyvizek anaerob lebontása	508
4.6.5. Az akrilsav lebontása UASB reaktorban	512
4.7. Élelmiszer- és mezőgazdasági ipari szennyvizek tisztítása	514

4.7.1. A tejipari szennyvíz anaerob lebontása.	514
4.7.2. Söripari szennyvíz tisztítása expandált ágyas (EGSB) és UASB reaktorral	521
4.7.3. A melasz-tartalmú szennyvíz anaerob tisztítása	523
4.7.4. Vágóhídi eredetű szennyvíz tisztítása kombinált anaerob-aerob reaktorban.	527
4.7.5. A baromfi-feldolgozó és kommunális szennyvíz közös anaerob tisztítása	529
4.7.6. Borászati szennyvíz tisztítása UASB reaktorral	530
4.7.7. Burgonya-feldolgozó szennyvizének tisztítása	531
4.7.8. Az UASB reaktor alkalmazása a gyümölcsle iparban	532
4.7.9. Kávé-feldolgozás szennyvizének anaerob rothasztása	533
4.7.10. Az állattartó telepek szennyvizének anaerob tisztítása	533
4.7.11. Gyapjúmosó üzem szennyvizének tisztítása	537
4.7.12. Alkohol-desztillációs üzem szennyvizének anaerob tisztítása	538
4.7.13. Cellulóz tartalmú szennyvíz anaerob biológiai bonthatósága	540
4.7.14. A glükóz és szacharóz tartalmú szennyvizek anaerob tisztítása	543
4.8. Egyéb ipari szennyvizek tisztítása	544
4.8.1. Azo-festékek anaerob lebontása	544
4.8.2. Viszkóz-szál gyártás szennyvizének anaerob tisztítása.	545
4.8.3. A linolsav anaerob lebontása és inhibíciós hatásai.	547
4.8.4. A hulladék-lerakók „csurgalékvizének” anaerob kezelése	548
4.8.5. Textilipari szennyvizek anaerob-aerob tisztítása.	551
4.8.6. Az aromás szennyezőanyagok gátló hatása a bioszemcsék metántermelésére	552
4.8.7. Kender feldolgozó üzem szennyvizének rothasztása	554
4.8.8. A cserzőipari szennyvíz anaerob tisztítása szimultán szulfid eltávolítással.	555
4.8.9. Bőrgyári szennyvizek tisztítása kombinált anaerob és aerob eljárással	560
4.9. Granulált aktívszén (GAC) alkalmazása az anaerob szennyvíztisztításban	564
4.9.1. Anaerob deklórozási folyamat a fluid-ágyas GAC reaktorban	565
4.9.2. Pentaklórfenol anaerob/aerob lebontása fluid-ágyas GAC reaktorban	568
4.9.3. A 2,4-dinitrotoluol lebontása anaerob fluid ágyas (GAC) reaktorban	571
4.9.4. Az aktívszén (GAC) felületén kialakult anaerob biofilmszint adszorpciós kapacitása	572
4.9.5. A szerves nitrogén és kén vegyületek szimultán eltávolítása a fluid-ágyas (GAC) reaktorban	573
4.9.6. A policiklikus aromás-N vegyületek lebontása GAC szűrővel	575
4.9.7. Fenol lebontása GAC reaktorban	576
4. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	579
4. fejezet irodalom.	582
5. AZ ELŐKEZELÉS HATÁSA AZ ANAEROB LEBONTÁSI FOLYAMATRA	597
5.1. A házi szennyvíz lebegőanyag tartalmának biológiai bonthatósága	597
5.2. Előkezelési eljárások	598

5.2.1. Mechanikai aprítás és roncsolás.	600
5.2.2. Termikus előkezelés	610
5.2.2.1. A termikus előkezelés hatása a szubsztrátok bonthatóságára	611
5.2.2.2. A nitrogéntartalmú vegyületek termikus kezelése	618
5.2.2.3. CAMBI termikus előkezelési technológia ismertetése	619
5.2.3. Kémiai és a termikus kezelés kombinációja	622
5.2.4. Enzimes előkezelés	628
5.2.5. Ultrahang-kezelés	630
5.2.6. Oxidációs eljárások	638
5.2.6.1. Ózonos előkezelés	639
5.2.7. Az előkezelés egyéb módjai	645
5.2.7.1. Roncsolás pulzáló elektromos mezővel (PEF)	645
5.2.7.2. Mikrohullámú kezelés	646
5.2.7.3. Sugár-kezelés	648
5.3. A különböző előkezelési módok összehasonlítása.	648
5.4. Az előkezelés hatása az anaerob lebontási folyamatra	649
5.5. Kombinált eljárások	654
5.6. Roncsolás és az iszap-víztelenítés kapcsolata.	657
5. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	658
5. fejezet irodalom.	659
6. AZ ANAEROB ROTHASZTÓK ÜZEMELTETÉSE	665
6.1. Az anaerob rothasztók működését meghatározó főbb tényezők	665
6.1.1. A szubsztrát összetétele és koncentrációja	665
6.1.2. Tartózkodási idő és a szervesanyag-terhelés	668
6.1.2.1. Kis terhelésű rothasztás	677
6.1.2.2. Nagy terhelésű rothasztás	679
6.1.3. A hőmérséklet hatása és a rothasztók fűtése	681
6.1.4. A rothasztók keverése	685
6.1.5. Toxikus anyagok	693
6.1.6. Oltóanyag	700
6.2. Különböző rothasztási eljárások	701
6.2.1. Fűtetlen (hideg) rothasztók	701
6.2.2. Egylépcsős anaerob rendszer	705
6.2.3. Kétlépcsős anaerob rendszer	708
6.3. Az anaerob rothasztók kialakítása és üzemeltetése	723
6.3.1. Rothasztó műtárgy kialakítása és alakja	723
6.3.2. Előszűrítő	727

6.3.3. Az utórothasztó szerepe	728
6.3.4. Recirkuláció	729
6.3.5. Üzemeltetési kérdések	731
6.4. Termofil anaerob rothasztás	737
6.4.1. A termofil rothasztásnál jelentkező szulfid emisszió	739
6.4.2. A hőmérséklet hatása az illékony zsírsavak lebontására	741
6.4.3. A termofil rothasztás gátlása	743
6.4.4. A termofil rothasztás üzemi tapasztalatai	745
6.4.5. A termofil rothasztók beüzemelése	760
6.4.6. A termofil anaerob szennyvíztisztítás tapasztalatai	763
6.4.6.1. UASB rendszerű, termofil szennyvíztisztító reaktor beindítása	763
6.4.6.2. A tápanyag összetétel hatása termofil bioszemcsék összetételére	766
6.4.6.3. Szennyvizek tisztítása termofil anaerob módon	767
6.4.6. A mezofil és a termofil rothasztás kapcsolata	771
6.4.7.1. A mezofil és a termofil lebontási eredmények összehasonlítása	773
6.4.7.2. Az anaerob rothasztók viselkedése az átmeneti állapotok esetében.	779
6.4.7.3. Termofil és mezofil rothasztók biogáz összetétele	780
6.4.7.4. Termofil/mezofil rothasztó rendszer üzemi tapasztalatai	781
6.4.8. A rothasztás higiéniai kérdései	783
6. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	789
6. fejezet irodalom.	791
7. HULLADÉKOK ANAEROB KEZELÉSE	799
7.1. A különböző eredetű hulladékok biogáz-potenciálja	799
7.1.1. A szennyvíziszap szervesanyag-tartalmának bonthatósága	816
7.1.2. Mezőgazdasági eredetű energia-növények biogáz-potenciálja	818
7.2. A ko-fermentáció elvének gyakorlati alkalmazása	822
7.2.1. Sertéstelepi, oliva feldolgozó- és tej-üzemi szennyvizek közös rothasztása	826
7.2.2. Konyhai hulladékok anaerob kezelésének kísérleti eredményei	827
7.2.3. Konyhai hulladék és emésztő-gödör iszapjának közös termofil rothasztása	832
7.2.4. Gyógyszergyári és élesztőipari szennyvíz közös anaerob tisztítása	833
7.2.5. Szerves eredetű hulladékok közös anaerob kezelése üzemi méretben.	834
7.2.6. Kommunális szilárd hulladék és a szennyvíziszap közös rothasztása	836
7.2.7. Egyéb hulladékok anaerob kezelése	838
7.3. Mezőgazdasági eredetű ligno-cellulóz tartalmú hulladékok rothasztása	839
7.3.1. A fű-félék anaerob lebontásának javítása membrán-szeparálással.	842
7.4. Az állattartó telepek trágyájának rothasztása	843
7.4.1. Szakaszos üzemű, félnedves aerob és anaerob trágya kezelési technológia kombinációja	847

7.5. A kommunális hulladékok rothasztására alkalmas rothasztó rendszerek	850
7.5.1. Egylépcsős „nedves”, teljes elkeverésű rendszer	852
7.5.2. Egylépcsős „száraz” rendszerek	853
7.5.2.1. KOMPOGAS rendszerű rothasztó	854
7.5.2.2. A szilárd szerves anyagok száraz anaerob rothasztása BIOCEL reaktorban	855
7.5.3. Kétlépcsős rendszerek.	857
7.5.4. Mezőgazdasági hulladék anyagok egy- és kétlépcsős anaerob rothasztása	858
7.5.5. Hulladékok anaerob termofil kezelése	860
7.6. Települési szilárd hulladékok anaerob kezelése	863
7.6.1. A települési szilárd hulladék anyagok metán-termelési potenciálja.	864
7.6.2. A rothasztás és komposztálás összekapcsolása	867
7.7. A hulladék-lerakók szennyezőanyagainak anaerob lebomlása	868
7.7.1. Hulladék-lerakóban a metánfejlődés modellezése	871
7.7.2. Hulladék lerakók működési elve	873
7.7.3. A hulladék-lerakóban lejátszódó mikrobiológiai folyamatok.	876
7.7.3.1. A lerakók gáz emissziója	876
7.7.3.2. Metán-képződés az anaerob zónában.	878
7.7.3.3. Oxidációs folyamatok az aerob zónában.	878
7.7.4. Települési szilárd hulladék lerakók metán-termelési potenciáljának számítása.	879
7.7.5. A hulladék lerakók gáztermelésének számítógépes és kísérleti szimulációja	881
7.7.6. Hulladék-lerakók csurgalék-vizének minősége	883
7.7.6.1. A hulladék-lerakók csurgalék-vizének tisztítása.	886
7. fejezetben használt jelölések és rövidítések	888
7. fejezet irodalom.	889
8. A ROTHASZTÓK ÜZEMÉNEK ELLENŐRZÉSE ÉS SZABÁLYOZÁSA	895
8.1. Az üzemelést befolyásoló fontosabb paraméterek	895
8.1.1. A szubsztrát összetétele	895
8.1.2. A biomassza tartalom.	900
8.1.3. Oltóanyag	901
8.1.4. Szubsztrát terhelés	902
8.1.5. Hőmérséklet	904
8.1.6. A rothasztók keverése és üzemelési módok.	905
8.1.7. Toxikus anyagok hatása	906
8.2. Az anaerob rendszerek jellemzése és ellenőrzése	907
8.2.1. pH, lúgosság és az illósav koncentráció	907
8.2.2. Fajlagos gázhozam és a gázösszetétel	915
8.2.2.1. A biogáz hidrogén tartalma	918

8.2.3. Az anaerob-lebontás hatásfoka	919
8.2.4. Redoxpotenciál	921
8.2.5. A biomassza tartalom	922
8.2.5.1. Az aktív biomassza tartalom és az ezzel arányos biokémiai jellemzők	924
8.2.6. A mérési eredmények értékelése	927
8.2.7. A tisztított szennyvíz és a kezelt szennyvíziszap jellemzése	931
8.2.8. A rothasztók ellenőrzésének összefoglaló értékelése.	932
8. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	934
8. fejezet irodalom.	935
9. ROTHASZTÓK TERVEZÉSE	937
9.1. Általános tervezési szempontok.	937
9.2. Anaerob, kontakt-elkevert rendszerű reaktor tervezése	940
9.2.1. Iszapkor meghatározása McCarty összefüggésével	941
9.2.2. Anaerob kontakt-rendszer méretezése	942
9.3. Felfelé áramló iszapfüggönyös anaerob (UASB) reaktor tervezése	946
9.3.1. Tervezési példa kidolgozása	946
9.4. Anaerob iszap rothasztó tervezése	953
9.4.1. A műtárgy kialakításának általános szempontjai.	953
9.4.2. Tervezési példa bemutatása	956
9. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	964
9. fejezet irodalom	966
10. A ROTHASZTÓK ÜZEMELTETÉSI KÉRDÉSEI ÉS A BIOGÁZ HASZNOSÍTÁS	967
10.1. A rothasztó rendszerek optimalizálása	967
10.2. Az anaerob rothasztók üzemeltetési gondjai	968
10.2.1. Ammónia eltávolítás	969
10.3. Az anaerob rothasztási technológia fejlődése	971
10.4. Az anaerob lebontás korlátai	972
10.4.1. A toxikus szennyvizek anaerob tisztítása.	973
10.4.2. Biológiai bonthatóság.	973
10.5. Az anaerob rothasztás kérdései Európában	974
10.5.1. A nagy terhelés alkalmazása	976
10.5.2. Évszakos szennyvizek és a xenobiotikus vegyületek lebontása	977
10.5.3. Anaerob rendszerek alkalmazása a szennyvíztisztításban	977
10.5.4. A települési szilárd hulladék anyagok anaerob kezelése	978
10.6. Az anaerob kétlépcsős rendszerek	979
10.7. A biogáz szerepe az EU megújuló energia-politikájában.	981

10.7.1. Az EU álláspontja és célkitűzései.	985
10.8. A biogáz-ipar helyzete és perspektívái Magyarországon.	986
10.8.1. Biogáz mint megújuló energiaforrás jelentősége a magyar mezőgazdaságban	989
10.9. Biogáz-kapacitások kihasználása és gazdaságossága	994
10.10. Szennyvíziszap alapú biogáz-termelés	996
10.11. Depónia-gáz kitermelése és hasznosítása.	999
10.12. Biogáz felhasználása.	1002
10.13. Biogáz kénhidrogén tartalmának eltávolítása	1003
10.14. A sziloxán vegyületek szerepe a rothasztásban	1010
10.15. Biogáz tisztítási eljárások	1016
10.16. A metángáz és az üvegházhatás kapcsolata	1024
10. fejezetben használt jelölések és rövidítések.	1026
10. fejezet irodalom.	1027
11. HAZAI ÜZEMELÉSI TAPASZTALATOK ÉRTÉKELÉSE.	1031
11.1. Nagy-szennyezettésgű ipari szennyvizek anaerob tisztítása	1031
11.1.1. DREHER sörgyár szennyvíztisztítása.	1031
11.1.2. Nyírszőlősi konzervgyár szennyvizének anaerob tisztítása	1033
11.1.3. Szabadegyházai izocukor, bioetanol és keményítő gyár szennyvíztisztítása	1036
11.2. Mezőgazdasági hulladékok és állattartó telepek trágyájának rothasztása	1041
11.2.1. Csengersimai biogáz-üzem	1041
11.2.2. Nyírbátori biogáz-telep ismertetése	1043
11.2.3. Kenderes-Bánhalma biogáz-üzem	1046
11.2.4. Klárafalvai biogáz-üzem	1049
11.2.5. Pálhalmai biogáz-üzem	1051
11.3. A hazai szennyvíz iszap rothasztás tapasztalatai	1053
11.3.1. Az anaerob rothasztási technológia hazai fejlesztése	1057
11.3.2. Hazai szennyvíztisztító telepek iszapkezelési technológiájának korszerűsítése uniós támogatással	1058
11.3.3. Az É-Budapesti Szennyvíztisztító Telep rothasztóinak beüzemelési tapasztalatai	1062
11.4. Kutatás és műszaki fejlesztés az anaerob szennyvíztisztítás és iszapkezelés területén	1073
11.4.1. Technológia fejlesztése	1073
11.4.2. Biogáz-termelő rendszerek mikrobiológiai kutatása.	1079
11. fejezet irodalma	1090
Tárgymutató	.1095

BEVEZETÉS

Az ember által uralt bolygón élünk, amelyen az emberi tevékenység következtében a környezet drasztikusan megváltozott. A változás a környezetben nem új jelenség. Föld, mint bolygó a változásoknak volt alávetve keletkezésétől, kb. 4,6 milliárd évtől kezdve. Amikor az élet első formája a földön megjelent, kb. 3,7 milliárd évvel ezelőtt a teljes környezet anaerob állapotú volt. A redukáló jelegű atmoszféra tekintélyes mennyiségű CH_4 , CO , CO_2 , HCN , H_2 , NH_3 vegyületet tartalmazott. Az anaerob környezetben kb. 2,3 milliárd évvel ezelőtt a cianobaktériumok által az oxigén-termelés megindult. Nehéz megmondani, hogy mikor indult az oxigéntermelő fotoszintézis, de 2,3 milliárd éve már fejlett volt és javában zajlott. A fotoszintézis megjelenése a biomassza-termelődés robbanását idézte elő. A biomassza-termelődés végül az atmoszférában 20% oxigén jelenlétet eredményezett. A biomassza jelentős növekedése nagy változásokat hozott a metántermelő baktériumok tevékenységében. A fotoszintézis létezése előtt a szerves anyagok alkották a metánogén produkció fő forrásait (H_2 ; CO_2), de most már a globális metántermelődés fő forrása az ecetsav és a hidrogén, a biomassza anaerob lebontásából származnak. A metán mennyiségét tekintve a szén-dioxid után a második legjelentősebb üvegházhatású gáz, amelynek légköri koncentrációja az elmúlt másfél évszázad során megháromszorozódott. A légköri metánkoncentráció növekedése csak kismértékben írható az ipari tevékenység (pl. fosszilis tüzelőanyag égetés) rovására. Ennél sokkal jelentősebb mértékben járulnak hozzá az (pl. mezőgazdasági termelésből származó) úgynevezett biogén források. A tudósok mindaddig azt feltételezték, hogy a biogén metán képződése alapvetően szerves anyag oxigénmentes (anaerob) környezetben történő lebontása során, anaerob baktériumok tevékenysége mellett zajlik. Ebből kifolyólag a nagy mennyiségű biogén metán-forrást a vizes élőhelyek, a rizsföldek, a kórözdők és a természetes emésztőrendszere, a hulladéklerakók, óceánok, tavak, mocsarak és a szennyvíztisztítók képezik. A abiogén eredetű (nem-élő) metántermelő-források közé sorolhatók a szénbányák, természetes gázkitörések, ipari veszteségek, biomassza égetés, metán-hidrátok és a vulkánok. Az eddigi kutatások szerint a világon évente mintegy 350 – 600 millió tonna metán keletkezik és ez a mennyiség az atmoszférába, kerül. Az atmoszférába jutó összes metán 81 – 86%-a biogén és 13 – 19%-a abiogén eredetű. Jelenleg a metán koncentrációja az atmoszférában kb. $1,6 \text{ mg/dm}^3$, ami az általános üvegházhatásnak 15 – 20% -át képezi.

A gyakorlatban az anaerob szennyvíztisztítás és az anaerob iszap kezelés folyamatát egyszerűen csak a rothasztásnak nevezik. Az angolszász szakirodalomban az anaerob fermentáció fogalma alatt sok esetben az illósavtermelő folyamatot értik, míg a biogáz képződését inkább a metán-képződési (biomethanation) folyamattal azonosítják. Az anaerob folyamat kutatásáról és új technológiai megoldásokról az angolszász szakirodalomban nagyszámú közlemény jelenik meg. Az angol nyelvű szakirodalmi kifejezéseket igyekeztünk kerülni, azonban bizonyos esetekben, az elterjedt angol nyelvű rövidítéseket és fogalmakat kénytelenek voltunk használni, miután ezek helyett megfelelő magyar nyelvű kifejezés nincs. Az elterjedt angol kifejezések és jelölések új magyar kifejezésekkel történő helyettesítése körülményes lett volna, ezért az angol nyelvű kifejezések rövidítését sok esetben átvettük.

A rövidítéseket minden fejezet végén megadtuk, elkerülve olyan félreértést, hogy egy főfejezetben használt jelölés ugyanabban a fejezetben más fogalmat is jelöljön. Az azonos betű vagy jelölés a különböző fejezetekben más tartalommal bírhat. Számos szakirodalmi közleményt ismertetünk, melyek laboratóriumi, fél-üzemi és üzemi méretben végzett kísérletek eredményeit értékelik. Ezek a kutatási eredmények sok esetben az üzemeltető számára is hasznosak lehetnek, mert ezek az eredmények az üzemeltetést segíthetik. Ilyen kérdés lehet például különleges szubsztrátok közös anaerob kezelése vagy extrém körülmények („sokk-szerű” terhelés, tápanyag hiány stb.) mellett folyó üzemeltetés, amely a gyakorlatban, sok esetben előfordulhat. Ismeretes, hogy a rothasztással foglalkozó magyar nyelvű szakkönyv nincs forgalomban. Kétségtelen, hogy a fiatal szakemberek nyelvtudása

lényegesen jobb, mint az előző generációk nyelvtudása. Idegen nyelvű (angol, német, francia) szakkönyvek beszerzése és hozzáférhetősége az utóbbi időben sokat javult. Ma már az Internet is nagy segítséget jelent rész- és alapkérdések tisztázásában.

A fentiekben ismertetett érvek ellenére reméljük, hogy az anaerob biológiai lebontással foglalkozó magyar-nyelvű szakkönyv segítséget jelenthet az egyetemi oktatásban, kutatásban és az üzemeltetésben dolgozó szakemberek számára. A szakkönyv részletesen foglalkozik az anaerob kezelés elméleti, gyakorlati és üzemeltetési kérdéseivel is. Egy fejezetben röviden értékeltük a hazai technológiai megoldásokat és üzemeltetési tapasztalatokat is.

Az Európai Unió célkitűzésének megfelelően csökkenteni kell a fosszilis energiahordozók felhasználását. Célkitűzés, hogy az Európai Unióban a megújuló energiaforrások részaránya az EU teljes energiafogyasztásában 2020-ig 20%-ra emelkedjen. A megújuló energiaforrások hasznosításának egyik jól ismert módja a szennyvíziszapok és hulladékok anaerob kezelése. E szakkönyv megjelenése segíti az alapfolyamat és a technológiai alkalmazás lehetőségeinek jobb megismerését.

Budapest, 2010. október

A szerzők